



INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI.

ESCUELA DE POSGRADOS.

MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN SISTEMAS DE GENERACIÓN SOLAR Y EÓLICA

**Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Magister Tecnológico en
Sistemas de Generación Solar y Eólica.**

Tema:

**Análisis técnico y económico para la sustitución de luminarias de sodio HPS por LED
Solar en el sistema de alumbrado público en ciudades de altura.**

Caso de estudio: Tramo de la vía Guayllabamba-Quito.

Autor: Rubén Eduardo Cadena Jiménez.

Director: Luis Daniel Andagoya Alba.

Fecha: Septiembre 2024.

Sangolquí - Ecuador



Autor: Cadena Jiménez Rubén Eduardo

Título a obtener: Magister Tecnológico en Sistemas de Generación Solar y Eólica

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: jimenez1040@hotmail.com



Dirigido por: Andagoya Alba Luis Daniel

Título: Master en Integración de las Energías Renovables en el Sistema Eléctrico / Ingeniero Eléctrico.

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: luis.andagoya@ister.edu.ec

Todos los derechos reservados

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

@2024 Tecnológico Universitario Rumiñahui

Sangolquí – Ecuador

Cadena Jiménez Rubén Eduardo



APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO TITULACIÓN

Sangolquí, 15 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: **ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA SUSTITUCIÓN DE LUMINARIAS DE SODIO HPS POR LED SOLAR EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO. CASO DE ESTUDIO TRAMO DE LA VÍA GUAYLLABAMBA-QUITO** realizado por **RUBÉN EDUARDO CADENA JIMÉNEZ** ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la institución, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

LUIS DANIEL
ANDAGOYA
ALBA

Firmado digitalmente
por LUIS DANIEL
ANDAGOYA ALBA
Fecha: 2024.09.15
22:29:56 -05'00'

Luis Daniel Andagoya-Alba
Director del Trabajo de Titulación
C.I.:1723285993
Correo electrónico: luis.andagoya@ister.edu.ec



CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 13 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

Por medio de la presente, yo, Rubén Eduardo Cadena Jiménez, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: ser autor del trabajo de titulación denominado " Análisis técnico y económico para la sustitución de luminarias de Sodio HPS por LED Solar en el sistema de alumbrado público en ciudades de altura. Caso de estudio: Tramo de la vía Guayllabamba-Quito.", de la Maestría Tecnológica en Sistemas de Generación Solar y Eólica; manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,

Rubén Eduardo Cadena Jiménez

CI: 1753032950



**FORMULARIO PARA ENTREGA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
EN BIBLIOTECA DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO
UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI**

**MAESTRÍA TECNOLÓGICA: EN SISTEMAS DE GENERACIÓN SOLAR Y
EÓLICA**

AUTOR /ES:

Rubén Eduardo Cadena Jiménez

TUTOR:

Luis Daniel Andagoya Alba

CONTACTO ESTUDIANTE:

0994618960-2164168

CORREO ELECTRÓNICO:

jimenez1040@hotmail.com

TEMA:

Análisis técnico y económico para la sustitución de luminarias de Sodio HPS por LED Solar en el sistema de alumbrado público en ciudades de altura. Caso de estudio: Tramo de la vía Guayllabamba-Quito.

RESUMEN EN ESPAÑOL:

Este proyecto, desarrollado en 2024, analiza la viabilidad técnica y económica de reemplazar las luminarias de sodio de alta presión (HPS) por lámparas LED solares en la vía Guayllabamba-Quito, una arteria clave que conecta la capital con el norte del país. El principal problema es la ineficiencia energética y el elevado costo operativo del sistema de alumbrado HPS, además de la vulnerabilidad al robo de luminarias, lo que afecta la seguridad vial. El objetivo principal es comparar ambas tecnologías desde un enfoque técnico y económico, evaluando el ahorro energético y los costos de mantenimiento. La metodología se basa en un análisis cuantitativo utilizando software especializado para simular el comportamiento de las luminarias y proyectar escenarios de ahorro. El estudio justifica la transición hacia tecnología LED solar por su mayor eficiencia, vida útil y menor impacto ambiental, contribuyendo a la sostenibilidad y reducción de costos a largo plazo. Los resultados sugieren que, aunque la inversión inicial es mayor, el retorno de la inversión es positivo debido a los ahorros significativos en energía y mantenimiento, lo que hace viable la implementación de esta tecnología en la vía.

Palabras claves: Iluminación pública, eficiencia energética, LED solar, análisis económico.

ABSTRACT:

This 2024 project examines the technical and economic feasibility of replacing High-Pressure Sodium (HPS) lamps with solar LED lamps on the Guayllabamba-Quito Road, a crucial artery connecting the capital to northern Ecuador. The primary issue involves the energy inefficiency and high operating costs of the current HPS lighting system, alongside frequent lamp thefts that compromise road safety. The main objective is to compare the technical and economic performance of both lighting technologies, focusing on energy savings and maintenance costs. A quantitative methodology using specialized software was employed to simulate the performance of the lamps and project potential savings. The study justifies transitioning to solar LED technology due to its higher efficiency, longer lifespan, and reduced environmental impact, contributing to sustainability and long-term cost reductions. The findings suggest that although the initial investment is higher, the return on investment is positive thanks to significant savings in energy and maintenance, making the implementation of this technology viable for the road.

Keywords: Economic analysis, energy efficiency, public lighting, solar LED.



SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 16 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación denominado: **“Análisis técnico y económico para la sustitución de luminarias de Sodio HPS por LED Solar en el sistema de alumbrado público en ciudades de altura. Caso de estudio: Tramo de la vía Guayllabamba-Quito.”** de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital “DsPace” del estudiante: **Rubén Eduardo Cadena Jiménez**, con documento de identificación No1753032950, estudiante de la Maestría Tecnológica en Sistemas de Generación Solar y Eólica.

El trabajo ha sido revisado las similitudes en el software “TURNITING” y cuenta con un porcentaje máximo de 15%; motivo por el cual, el Trabajo de titulación es publicable.

Atentamente,

Rubén Eduardo Cadena Jiménez
CI: 753032950

Dedicatoria:

Dedico este trabajo con todo mi corazón a mi familia, quienes han sido mi principal fuente de apoyo y fortaleza a lo largo de este camino. A mis padres, por enseñarme los valores del esfuerzo, la perseverancia y el compromiso, y por su amor incondicional. A todos ustedes, les debo este logro y les agradezco profundamente por siempre creer en mí.

Agradecimiento:

Agradezco, en primer lugar, a Dios por darme la salud, la sabiduría y la fortaleza necesarias para alcanzar este objetivo. Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mis profesores, en especial al Ing. Luis Daniel Andagoya, por su orientación y apoyo técnico durante el desarrollo de este proyecto. A mis compañeros de estudio, por su colaboración y compañerismo, y a todos aquellos que, de una u otra manera, contribuyeron a la culminación de esta etapa tan importante en mi vida profesional. Finalmente, agradezco a todas las personas e instituciones que hicieron posible este trabajo.

Resumen:

Este proyecto, desarrollado en 2024, analiza la viabilidad técnica y económica de reemplazar las luminarias de sodio de alta presión (HPS) por lámparas LED solares en la vía Guayllabamba-Quito, una arteria clave que conecta la capital con el norte del país. El principal problema es la ineficiencia energética y el elevado costo operativo del sistema de alumbrado HPS, además de la vulnerabilidad al robo de luminarias, lo que afecta la seguridad vial. El objetivo principal es comparar ambas tecnologías desde un enfoque técnico y económico, evaluando el ahorro energético y los costos de mantenimiento. La metodología se basa en un análisis cuantitativo utilizando software especializado para simular el comportamiento de las luminarias y proyectar escenarios de ahorro. El estudio justifica la transición hacia tecnología LED solar por su mayor eficiencia, vida útil y menor impacto ambiental, contribuyendo a la sostenibilidad y reducción de costos a largo plazo. Los resultados sugieren que, aunque la inversión inicial es mayor, el retorno de la inversión es positivo debido a los ahorros significativos en energía y mantenimiento, lo que hace viable la implementación de esta tecnología en la vía.

Palabras claves: Iluminación pública, eficiencia energética, LED solar, análisis económico.

Abstract:

This project examines the technical and economic feasibility of replacing High-Pressure Sodium (HPS) lamps with solar LED lamps on the Guayllabamba-Quito Road, a crucial artery connecting the capital to northern Ecuador. The primary issue involves the energy inefficiency and high operating costs of the current HPS lighting system, alongside frequent lamp thefts that compromise road safety. The main objective is to compare the technical and economic performance of both lighting technologies, focusing on energy savings and maintenance costs. A quantitative methodology using specialized software was employed to simulate the performance of the lamps and project potential savings. The study justifies transitioning to solar LED technology due to its higher efficiency, longer lifespan, and reduced environmental impact, contributing to sustainability and long-term cost reductions. The findings suggest that although the initial investment is higher, the return on investment is positive thanks to significant savings in energy and maintenance, making the implementation of this technology viable for the road.

Keywords: Economic analysis, energy efficiency, public lighting, solar LED.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Aprobación del Director del Trabajo de Titulación.....	III
Carta de Cesión de Derechos del Trabajo de Titulación.	IV
Formulario para Entrega del Trabajo de Titulación en Biblioteca del Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui	V
Solicitud de Publicación del Trabajo de Titulación.	VIII
Dedicatoria:	IX
Agradecimiento:	X
Resumen:	XI
Abstract:	XII
INTRODUCCIÓN	1
Tema:	1
Planteamiento del Problema:	1
Problema científico:.....	2
Preguntas científicas o directrices:	2
Objetivo general:	3
Objetivos específicos:.....	3
Justificación:.....	3
Variables:.....	4
Variables Directas:	4
Variables Indirectas:	4
Idea a defender y/o Hipótesis:	5
Hipótesis de eficiencia energética:	5
Hipótesis de viabilidad económica:.....	5
CAPÍTULO I	6
MARCO TEÓRICO.....	6
1.1 Contextualización Espacio-Temporal del Problema	6
1.1.1 Contexto Global y Regional	6
1.1.2 Situación en Ecuador.....	6
1.1.3 Contexto Local: Vía Guayllabamba-Quito.....	7
1.2 Revisión de Investigaciones Previas sobre el Objeto de Estudio	7

1.2.1 Estado del Arte	7
1.2.2 Estudios Internacionales	10
1.2.3 Estudios en Ecuador	11
1.3 Cuerpo Teórico-Conceptual	11
1.3.1 Introducción.....	11
1.3.2 Antecedentes Históricos	11
1.4 Iluminación LED Solar: Definición y Principios de Funcionamiento	13
1.4.1 Eficiencia Energética y Beneficios Ambientales.....	13
1.4.2 Análisis Económico de la Sustitución de Luminarias HPS por LED Solar	13
1.5 Tecnología LED y sus Aplicaciones en Alumbrado Público	14
1.5.1 Alta eficiencia energética:	14
1.5.2 Larga vida útil:	14
1.5.3 Alta calidad de luz:	15
1.5.4 Encendido instantáneo:.....	15
1.5.5 Diseño versátil:	15
1.6 Energía Solar Fotovoltaica y su Aplicación en Alumbrado Público	15
1.7 Sistema de Iluminación Led Solar.....	16
1.7.1 Panel Solar.....	16
1.7.2 Controlador de Carga.....	17
1.7.3 Inversor.....	18
1.7.4 Batería.....	18
1.7.5 Luces LED.....	19
1.7.6 Normativas y Referencias actualizadas:	19
1.7.7 Infraestructura:.....	21
1.8 Antecedentes.....	21
CAPÍTULO II.....	23
MARCO METODOLÓGICO.....	23
2.1 Enfoque metodológico de la investigación.....	23
2.2 Población, unidades de estudio y muestra y/o Unidad de Análisis	24
2.3 Metodología.....	25
2.3.1 Materiales y Herramientas Necesarias:	26
2.3.2 Etapas Metodológicas:.....	26

CAPÍTULO III	28
PROPUESTA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO	28
3.1 Fundamentos de la Propuesta	28
3.2 Presentación de la Propuesta	29
3.2.1 Evaluación del Sistema Actual:	30
3.2.2 Análisis Comparativo del reemplazo y Proyección de Resultados:	30
3.2.3 Análisis del Diseño del Sistema de Iluminación LED Solar:	30
3.3 Ejecución de la Propuesta.....	31
3.3.1 Ubicación, Medida de Poste a Poste y datos de la vía Guayllabamba- Quito.....	32
3.3.2 Modelo de luminaria, Tramos y Transformador instalados en la vía Guayllabamba-Quito	38
3.3.3 Características de la luminaria reemplazable sodio.....	40
3.3.4 Características de la luminaria reemplazable LED solar.....	42
3.3.5 Cálculo de la Sustitución de las luminarias sodio HPS por LED solar	43
3.3.6 Análisis comparativo de las luminarias reemplazables	45
3.3.7 Cálculo de la inversión inicial	47
3.3.8 Análisis del Costo-Beneficio (Económico)	49
3.3.8.1 Escenarios Propuestos	56
3.3.8.2 Resultados de Viabilidad de los Escenarios Propuestos.....	56
3.3.9 Análisis del cálculo del sistema Led Solar	64
3.3.9.1 Necesidades del lugar	64
3.3.9.2 Pérdidas Totales del Sistema	64
3.3.9.3 Carga energética máxima del sistema	66
3.3.9.4 Ubicación y radiación solar (Base de datos)	67
3.3.9.5 Determinación de la energía solar disponible.....	68
3.3.9.6 Dimensionamiento del campo de captación	69
3.3.9.7 Dimensionado del sistema de acumulación.....	71
3.3.9.8 Dimensionado del sistema propuesto	73
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS:	77
ANEXOS	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Lámparas de vapor de sodio alta presión	44
Tabla 2. Relación S/P de cada fuente de luz	44
Tabla 3. Kit solar Syl-Street Gel	45
Tabla 4. Resumen del presupuesto total proyecto	49
Tabla 5. Costos de mano de obra 2024.....	50
Tabla 6. Parámetros de Factibilidad del Proyecto	54
Tabla 7. Escenarios Propuestos	56
Tabla 8. Factibilidad del Proyecto Escenario #1	57
Tabla 9. Cálculo de beneficio económico del Escenario #1	58
Tabla 10. Factibilidad del Proyecto del Escenario #2	59
Tabla 11. Cálculo de beneficio económico del Escenario #2.....	60
Tabla 12. Factibilidad del Proyecto Escenario #3	61
Tabla 13. Cálculo de beneficio económico del Escenario #3.....	62
Tabla 14. Necesidades del lugar	64
Tabla 15. Datos para determinar las pérdidas totales del sistema	65
Tabla 16. Energía solar disponible	68
Tabla 17. Energía entregada por el panel	69
Tabla 18. Cálculo del Campo de captación	70
Tabla 19. Cálculo del Sistema de acumulación.....	71
Tabla 20. Cálculo de baterías en paralelo para el sistema de acumulación.....	71
Tabla 21. Cálculo de baterías en serie y el total para el sistema de acumulación	72
Tabla 22. Kit solar propuesto	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Alumbrado público con luces led.....	14
Figura 2. Sistema de iluminación led-solar	16
Figura 3. Paneles solares	17
Figura 4. Controlador de Carga	17
Figura 5. Funcionamiento del Inversor.....	18
Figura 6. Baterías de Almacenamiento.....	18
Figura 7. Luces Led-solar en alumbrado público	19
Figura 8. Vía Guayllabamba-Quito en la noche	31
Figura 9. Tramo de la Vía Guayllabamba-Quito al atardecer	32
Figura 10. Ubicación de la Vía Guayllabamba-Quito	33
Figura 11. Medida de poste a poste	34
Figura 12. Modelo del poste metálico	34
Figura 13. Circuito de alumbrado público con postes metálicos en red subterránea	35
Figura 14. Comienzo de la vía en el redondel principal de Guayllabamba.....	36
Figura 15. Luminarias de la vía en el primer tramo principal de Guayllabamba.....	37
Figura 16. Luminarias en la unión con en el Intercambiador Collas.....	38
Figura 17. Datos de las luminarias y postes	39
Figura 18. Datos de los tramos BT subterráneo y aéreo.....	39
Figura 19. Datos del transformador en poste.....	40
Figura 20. Datos del transformador en poste.....	41
Figura 21. Datos del transformador en poste.....	42
Figura 22. Ubicación de la vía Guayllabamba-Quito.....	67
Figura 23. Datos de la radiación solar en la vía Guayllabamba-Quito.....	67

INTRODUCCIÓN

Tema:

Análisis técnico y económico para la sustitución de luminarias de Sodio HPS por LED Solar en el sistema de alumbrado público en ciudades de altura. Caso de estudio: Tramo de la vía Guayllabamba-Quito.

Planteamiento del Problema:

El sistema de alumbrado público en la vía Guayllabamba-Quito enfrenta desafíos significativos debido a la utilización de luminarias de sodio de alta presión (HPS). Esta vía, una de las arterias más transitadas que conecta varios sectores con la capital desde el norte, depende de un alumbrado constante y confiable. Sin embargo, las luminarias HPS presentan serias limitaciones en cuanto a eficiencia energética, lo que se traduce en un elevado consumo eléctrico y, en consecuencia, en altos costos de operación. Estas luminarias, además de ser ineficientes, tienen una vida útil limitada y son propensas a quemarse con facilidad, lo que demanda un mantenimiento continuo y frecuentes reemplazos, incrementando aún más los gastos operativos y causando interrupciones en el servicio.

La calidad de la iluminación ofrecida por las luminarias HPS también es insuficiente. Estas emiten una luz de pobre calidad, con una reproducción de colores inadecuada y una distribución desigual de la luz, lo que deteriora la visibilidad en la vía y compromete la seguridad, especialmente en momentos de alta afluencia vehicular. A esto se suma el hecho de que las luminarias HPS contribuyen significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, exacerbando el impacto ambiental negativo asociado a su uso.

Adicionalmente, la vía se ve afectada por frecuentes robos de luminarias, lo que agrava aún más la problemática. La sustracción de estos equipos no solo genera costos adicionales debido a la necesidad de reposición, sino que también provoca la creación de zonas sin iluminación, aumentando el riesgo de accidentes y actos delictivos, y comprometiendo la seguridad tanto de los peatones como de los conductores. La combinación de estos factores de altos costos, necesidad de mantenimiento constante, rápida degradación, deficiente calidad de iluminación, impacto ambiental negativo, y robos frecuentes han creado una situación

insostenible que requiere de una intervención urgente y eficaz para garantizar la seguridad y el bienestar de quienes transitan por esta importante vía.

Problema científico:

El sistema de alumbrado público en la vía Guayllabamba-Quito presenta deficiencias importantes debido al uso de luminarias de sodio de alta presión (HPS). Esta carretera, vital por su alta afluencia vehicular al conectar varios sectores con la capital desde el norte, demanda un alumbrado confiable. No obstante, las luminarias HPS son ineficientes en términos de consumo energético, lo que se traduce en elevados costos de electricidad. Además, tienen una vida útil limitada, lo que conlleva un mantenimiento frecuente y la necesidad constante de reemplazos, incrementando así los costos operativos y generando interrupciones en el servicio. La calidad de iluminación es inadecuada, con una reproducción deficiente de colores y una distribución desigual de la luz, afectando la visibilidad y seguridad, especialmente en momentos de mayor tránsito vehicular.

A estos problemas se suman los robos frecuentes de luminarias, que no solo aumentan los gastos, sino que dejan tramos sin iluminación, elevando el riesgo de accidentes y actos delictivos. En conjunto, la ineficiencia energética, el alto costo de mantenimiento, la pobre calidad de iluminación, el impacto ambiental negativo y la inseguridad derivada del robo de luminarias evidencian la necesidad urgente de implementar soluciones que garanticen un sistema de alumbrado público más eficiente y sostenible en esta vía.

Preguntas científicas o directrices:

- ¿Cómo se compara la eficiencia energética de las luminarias LED solar con las luminarias de sodio HPS en diferentes condiciones climáticas y de operación, y cuál es el impacto de esta diferencia en el consumo energético del sistema de alumbrado público?
- ¿Cuál es el análisis económico de la inversión en la sustitución de luminarias, considerando los costos iniciales, los costos de operación y mantenimiento, y los posibles ahorros a largo plazo en el consumo de energía eléctrica?
- ¿Cuáles son las barreras técnicas, económicas y regulatorias que podrían obstaculizar la implementación a gran escala de esta tecnología en el sistema de alumbrado público?

Objetivo general:

Evaluar la viabilidad técnica y económica de reemplazar las luminarias de sodio de alta presión (HPS) por luminarias LED solares en el sistema de alumbrado público de un tramo de la vía Guayllabamba-Quito, con el fin de comparar técnica y económicamente ambas tecnologías y abordar el problema de los robos.

Objetivos específicos:

- Analizar el rendimiento actual de las luminarias HPS y LED
- Diseñar un sistema de iluminación LED solar
- Realizar un análisis comparativo de costos y beneficios de ambas tecnologías

Justificación:

El proyecto se justifica por en el análisis técnico y económico para reemplazar luminarias de sodio de alta presión (HPS) con luminarias LED solares en la vía Guayllabamba-Quito. Este estudio incluye la evaluación del rendimiento actual de las luminarias HPS, el diseño y simulación de un sistema de iluminación LED solar y un análisis comparativo de costos y beneficios entre ambas tecnologías. Además, se examinarán aspectos relacionados con la eficiencia energética, la calidad de la iluminación, los requerimientos de mantenimiento y la sostenibilidad ambiental.

El alcance del proyecto comprende las siguientes actividades:

- **Recolección de Datos:** Se recopilarán datos técnicos sobre el rendimiento de las luminarias HPS actuales, incluyendo consumo energético, costos operativos, frecuencia de mantenimiento y calidad de la iluminación.
- **Diseño:** Se diseñará el sistema de iluminación LED solar para la vía, considerando factores como la distribución de la luz, la eficiencia energética y la durabilidad de las luminarias.
- **Análisis Comparativo:** Se realizará un análisis comparativo de costos y beneficios entre las luminarias HPS y las LED solares. Este análisis incluirá aspectos como el costo de instalación, los ahorros en consumo energético, los costos de mantenimiento y el impacto ambiental.

- **Elaboración de Recomendaciones:** Basado en los datos y análisis obtenidos, se desarrollarán recomendaciones para la posible implementación del sistema de iluminación LED solar.

El proyecto no incluirá la implementación física de las luminarias LED solares ni el seguimiento posterior a la instalación. Asimismo, no se abordarán otros aspectos del sistema de alumbrado público fuera de la vía Guayllabamba-Quito ni se considerarán otras tecnologías de iluminación distintas a las especificadas.

Así este alcance asegura que todas las partes involucradas comprendan claramente las metas y límites del proyecto. Al establecer un enfoque específico y limitado, se pretende evitar malentendidos y asegurar que el esfuerzo se concentre en los objetivos establecidos, logrando así un análisis detallado y efectivo que pueda servir como base para futuras decisiones de implementación.

Variables:

Variables Directas:

Las variables directas son aquellas que tienen una relación causal directa con el fenómeno estudiado. En este caso, la sustitución de luminarias de sodio HPS por LED solar.

- **Tipo de luminaria:** La principal variable directa, ya que es la característica que se está modificando.
- **Consumo energético:** La cantidad de energía eléctrica consumida por cada tipo de luminaria.
- **Costo de inversión:** El costo inicial para adquirir e instalar las nuevas luminarias.
- **Vida útil de las luminarias:** La duración esperada de cada tipo de luminaria.
- **Intensidad luminosa:** La cantidad de luz emitida por cada luminaria.
- **Calidad de la luz:** Características como la uniformidad, el color y la dirección de la luz.
- **Mantenimiento:** La frecuencia y el costo de las tareas de mantenimiento.

Variables Indirectas:

Las variables indirectas son aquellas que influyen en las variables directas o en la relación entre ellas, pero no son el foco principal del estudio.

- **Características de la vía:** La longitud, el ancho, el tipo de pavimento y la presencia de obstáculos pueden influir en el diseño del sistema de iluminación.

- **Políticas públicas:** Las regulaciones y normativas relacionadas con la eficiencia energética y la iluminación pública pueden afectar la implementación del proyecto.
- **Costo de la energía eléctrica:** El precio de la energía eléctrica puede afectar el ahorro económico generado por la sustitución de luminarias.

Idea a defender y/o Hipótesis:

Hipótesis de eficiencia energética:

- La sustitución de luminarias de sodio HPS por LED solar en el tramo de la Vía Guayllabamba-Quito resultará en una reducción significativa del consumo de energía eléctrica en el sistema de alumbrado público.
- Los sistemas de iluminación LED solar demostrarán una mayor eficiencia energética en comparación con las luminarias de sodio HPS, especialmente a largo plazo.

Hipótesis de viabilidad económica:

- A pesar de una mayor inversión inicial, la sustitución de luminarias generará ahorros a largo plazo en los costos de operación y mantenimiento del sistema de alumbrado público, lo que resultará en un retorno de la inversión en un período de tiempo determinado.
- Los beneficios económicos de la sustitución de luminarias, como la reducción de los costos de energía y el aumento de la vida útil de los equipos, superarán los costos iniciales de la inversión.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Contextualización Espacio-Temporal del Problema

1.1.1 Contexto Global y Regional

La preocupación por la sostenibilidad y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero ha impulsado la adopción de sistemas de iluminación eficientes a nivel mundial. La transición hacia tecnologías más avanzadas, como los sistemas LED y LED solar, se ha consolidado como una estrategia esencial en la búsqueda de una energía más sostenible. De acuerdo con estudios de la Agencia Internacional de Energía (IEA), la implementación masiva de tecnologías de iluminación eficiente podría reducir de manera notable la demanda energética en los sectores urbanos. Países como Alemania, Japón y Estados Unidos han sido pioneros en la modernización de su infraestructura de alumbrado público, con importantes inversiones para la adopción de estas tecnologías avanzadas. (*World Energy Outlook 2023 – Analysis*, 2023)

En América Latina, la evolución hacia sistemas de alumbrado público sostenibles ha sido progresiva, pero constante. Brasil y Chile, por ejemplo, han implementado políticas que promueven el uso de LED y energías renovables en áreas urbanas y rurales. En Río de Janeiro, el proyecto "Luz Sustentável" instaló más de 100,000 luminarias LED, logrando mejorar la seguridad y reducir el consumo energético en más del 50% (Bank, 2023). Este tipo de iniciativas refleja el creciente interés regional en la adopción de tecnologías que no solo son eficientes, sino que también contribuyen a la reducción de costos y la mejora en la calidad de vida.

1.1.2 Situación en Ecuador

En Ecuador, el sistema de alumbrado público depende mayoritariamente de luminarias HPS (High-Pressure Sodium), las cuales son menos eficientes en términos energéticos. Aunque algunas ciudades como Quito y Guayaquil han iniciado la transición hacia sistemas LED en áreas urbanas, su implementación sigue siendo limitada, especialmente en zonas rurales y vías interurbanas (*Repositorio Institucional*, s. f.). El gobierno ecuatoriano, a través del Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, ha promovido varios proyectos para mejorar la eficiencia energética, incentivando el uso de tecnología LED y energía solar. Sin embargo, el

avance ha sido desigual, con muchas carreteras y zonas rurales aun utilizando tecnologías anticuadas y costosas como las luminarias HPS.(Figueroa & Alejandra, 2023)

1.1.3 Contexto Local: Vía Guayllabamba-Quito

La vía Guayllabamba-Quito es una arteria vital para la conectividad entre la capital y las regiones al norte del país. Debido a su elevada afluencia vehicular, requiere un sistema de alumbrado público eficiente y confiable. Sin embargo, esta vía continúa utilizando luminarias HPS, que presentan múltiples desafíos: baja eficiencia energética, altos costos de mantenimiento y una vida útil limitada. Además, la problemática de los robos de luminarias ha agravado la situación, comprometiendo la seguridad de los conductores y transeúntes. Dada esta situación, la necesidad de un sistema de iluminación moderno y sostenible es evidente, y la tecnología LED solar se presenta como una solución viable para abordar estos desafíos.

1.2 Revisión de Investigaciones Previas sobre el Objeto de Estudio

1.2.1 Estado del Arte

En los últimos años, el campo de la iluminación pública ha evolucionado notablemente, impulsado por la necesidad global de mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de carbono. Los estudios más recientes analizan un abanico de soluciones tecnológicas que buscan reemplazar o mejorar los sistemas tradicionales, como las lámparas de sodio y mercurio, con opciones más sostenibles como luces LED y sistemas autónomos basados en energía solar. Estas investigaciones presentan un panorama diverso donde las soluciones varían según el contexto geográfico, económico y técnico, pero convergen en el objetivo de crear una infraestructura de iluminación más eficiente y sostenible.

Uno de los aspectos más discutidos es la comparación entre tecnologías tradicionales y modernas. En un estudio realizado en Iraq, se evaluaron sistemas de lámparas de sodio de 400 W frente a luces LED de 200 W y sistemas solares autónomos, concluyendo que, aunque las lámparas de sodio tienen un menor costo inicial, las opciones LED y solares resultan más eficientes a largo plazo. Esto se debe a su menor consumo energético y a la independencia de la red eléctrica, un factor crucial en áreas con infraestructuras eléctricas deficientes(Kulasooriyage et al., 2015). De manera similar, un análisis en Pakistán mostró que las tecnologías LED y solares, aunque con un costo inicial más elevado, generan un retorno de inversión más rápido

debido a la reducción de los costos operativos y al ahorro energético significativo a lo largo del tiempo (Montufar et al., 2022).

El análisis comparativo se extiende a áreas rurales en Turquía, donde se investigaron sistemas off-grid en zonas sin acceso a la red eléctrica. Los resultados de las simulaciones realizadas con herramientas como DIALux y HOMER indican que, aunque la inversión inicial es considerable, los ahorros a mediano y largo plazo justifican estos costos. En estas regiones, las soluciones fotovoltaicas se destacan como la opción más adecuada, no solo por su eficiencia energética, sino también por su capacidad de operar de manera independiente en lugares con poca infraestructura (Alcívar-Centeno et al., 2023). Esta tendencia a utilizar simulaciones avanzadas para optimizar el diseño y la viabilidad económica de los sistemas de iluminación es consistente en múltiples estudios, lo que subraya la importancia de una planificación técnica rigurosa en la adopción de estas tecnologías.

La preocupación por la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, como el CO₂, también es un tema recurrente. En Omán (George Allwyn et al., 2021), (Duman & Güler, 2019) se analizó la sustitución de lámparas HPS por sistemas LED alimentados por energía solar, destacando que esta transición podría reducir las emisiones en más del 50% y lograr un retorno de inversión en menos de cinco años. De manera similar en Pakistán, la modernización de la infraestructura de iluminación con tecnologías renovables se considera esencial para cumplir con los objetivos nacionales de sostenibilidad (Touqeer et al., 2016). Estos estudios resaltan la necesidad de adoptar soluciones que alineen las políticas energéticas con los compromisos ambientales. Sin embargo, la adopción masiva de estas tecnologías aún enfrenta desafíos significativos. Uno de los obstáculos principales es el alto costo inicial de los componentes, especialmente en regiones con presupuestos municipales limitados. Varios estudios coinciden en que, con incentivos gubernamentales adecuados y una planificación financiera cuidadosa, es posible superar estos obstáculos y maximizar los beneficios a largo plazo (Nair, 2012). Otro desafío es la necesidad de mantenimiento especializado y la capacitación de personal técnico para gestionar estos sistemas. Sin embargo, los avances en la durabilidad de los paneles solares y las luminarias LED, junto con mejoras en la tecnología de baterías, están reduciendo la necesidad de intervención constante, lo que facilita la implementación en áreas remotas o con escasos recursos técnicos. (George Allwyn et al., 2021)

A medida que las ciudades avanzan hacia la adopción de modelos de "ciudades inteligentes", la convergencia de tecnologías como la inteligencia artificial y la automatización en los sistemas de iluminación pública se vuelve cada vez más relevante. Estudios recientes proyectan que, en un futuro cercano, estos sistemas podrán ajustar automáticamente la intensidad lumínica en función de factores como el tráfico, la hora del día o las condiciones meteorológicas, optimizando así el uso de energía y mejorando la seguridad vial (Vargas et al., 2016). Un ejemplo de esto se encuentra en Ecuador, donde se ha propuesto un sistema de iluminación inteligente para autopistas que adapta la luz en tiempo real, logrando ahorros adicionales en energía (Das et al., 2015). Además de la sostenibilidad, la implementación de sistemas solares autónomos permite un acceso más amplio a la iluminación pública en áreas remotas o rurales donde la conexión a la red eléctrica es limitada o inexistente. Estos sistemas son especialmente relevantes en contextos como los de Pakistán y Turquía, donde la infraestructura energética enfrenta desafíos significativos. En tales casos, las soluciones off-grid no solo mejoran la seguridad pública, sino que también ofrecen una opción económicamente viable y sostenible (Montufar et al., 2022).(Alcívar-Centeno et al., 2023)

A pesar de las claras ventajas de los sistemas LED y fotovoltaicos, su adopción masiva todavía enfrenta ciertos desafíos. Uno de los principales obstáculos es el alto costo inicial de los componentes, particularmente en regiones donde los presupuestos municipales son limitados. No obstante, los estudios coinciden en que, con incentivos gubernamentales y una adecuada planificación financiera, los beneficios a largo plazo superan los costos iniciales.(Nair, 2012)

Otro desafío es la necesidad de mantenimiento especializado y la capacitación de personal técnico para operar y mantener estos sistemas. Sin embargo, los avances tecnológicos en baterías y la mejora en la durabilidad de los paneles solares y luminarias LED están ayudando a superar estos obstáculos, reduciendo la necesidad de intervención constante. (George Allwyn et al., 2021)

La convergencia de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y la automatización, está comenzando a integrarse en los sistemas de iluminación pública. Se proyecta que, en el futuro, las ciudades inteligentes adoptarán sistemas de iluminación que ajusten automáticamente la intensidad lumínica en función de factores como el tráfico, la hora del día y las condiciones meteorológicas. En Ecuador, por ejemplo, se ha propuesto un sistema

de iluminación inteligente para autopistas que adapta la luz en tiempo real, logrando ahorros adicionales en energía y mejorando la seguridad vial.(Das et al., 2015)

Estas tendencias apuntan hacia un futuro donde la iluminación pública no solo será más eficiente y ecológica, sino también altamente adaptable a las necesidades de las comunidades, promoviendo un desarrollo urbano más sostenible y resiliente.(Vargas et al., 2016)

En conjunto, estos estudios indican que el futuro de la iluminación pública se dirige hacia una combinación de tecnologías sostenibles, autónomas y adaptativas, donde la eficiencia energética, la sostenibilidad ambiental y la viabilidad económica se equilibran para promover un desarrollo urbano más resiliente. A pesar de los desafíos iniciales, las tendencias actuales sugieren que la integración de soluciones inteligentes y ecológicas en la infraestructura de iluminación será clave para enfrentar los retos energéticos y ambientales de las próximas décadas.

1.2.2 Estudios Internacionales

En la última década, se han realizado múltiples investigaciones sobre la transición de luminarias HPS a sistemas LED y LED solar en el alumbrado público. Un estudio de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) evaluó la eficiencia de sistemas LED solares en comparación con luminarias HPS, concluyendo que los sistemas LED solares no solo reducen el consumo energético en un 70%, sino que también mejoran significativamente la calidad de la iluminación (Panameño, s. f.). De manera similar, estudios en Argentina han demostrado que la sustitución de HPS por LED solar en áreas urbanas y suburbanas no solo mejora la seguridad vial, sino que también proporciona una iluminación más uniforme y de mejor calidad; en Colombia, la Universidad de los Andes condujo un estudio en 2021 sobre el impacto económico de la transición a tecnología LED en zonas rurales. El estudio reveló que, aunque la inversión inicial es mayor comparada con las luminarias HPS, el retorno de la inversión (ROI) se logra en un período de 3 a 5 años, gracias a los menores costos operativos y de mantenimiento. Este análisis destaca la importancia de adaptar los sistemas a las condiciones climáticas y el contexto específico de cada región para garantizar el éxito de los sistemas LED solares.(Chiluisa Yáñez, 2019)

1.2.3 Estudios en Ecuador

En Ecuador, la mayoría de las investigaciones sobre alumbrado público se han enfocado en áreas urbanas. En los repositorios de universidades como la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y la Universidad de Guayaquil se encuentran estudios que exploran la implementación de luminarias LED en ciudades como Quito y Cuenca. No obstante, pocos trabajos han abordado la transición hacia LED solar en carreteras interurbanas. Un estudio realizado en 2019 por la EPN analizó el uso de tecnología LED en la avenida Simón Bolívar en Quito, concluyendo que esta mejora la calidad de la iluminación y reduce los costos energéticos, aunque no se consideró la implementación de sistemas autónomos como los LED solares.(Chiluisa Yáñez, 2019)

A pesar de que existen estudios sobre el uso de luminarias LED solares en entornos urbanos y rurales, pocos se han enfocado en vías interurbanas con características similares a la vía Guayllabamba-Quito. Esta investigación pretende llenar ese vacío, proporcionando un análisis técnico y económico detallado sobre la viabilidad de implementar luminarias LED solares en esta vía.(Quintero et al., 2022)

1.3 Cuerpo Teórico-Conceptual

1.3.1 Introducción

La presente investigación aborda el análisis técnico y económico de la sustitución de luminarias de Sodio de Alta Presión (HPS) por luminarias LED solares en el sistema de alumbrado público, centrandose en un tramo específico de la vía Guayllabamba-Quito. Esta transición tecnológica no solo busca mejorar la eficiencia energética y reducir los costos operativos, sino también minimizar el impacto ambiental asociado al alumbrado público, alineándose con los objetivos de sostenibilidad que son cada vez más relevantes en el desarrollo de infraestructuras urbanas y rurales. La adopción de tecnologías más limpias y eficientes en el ámbito del alumbrado público se convierte, por tanto, en una prioridad que responde tanto a necesidades económicas como ambientales.(Narvárez Muñoz, 2020)

1.3.2 Antecedentes Históricos

Las luminarias de Sodio de Alta Presión (HPS) han sido ampliamente utilizadas en sistemas de alumbrado público debido a su capacidad para proporcionar una luz intensa y cálida, que es particularmente efectiva en condiciones de baja visibilidad, como en la niebla o la lluvia. Esta característica, junto con su relativa durabilidad y costo moderado, hizo que las luminarias

HPS fueran la opción preferida durante muchas décadas. Sin embargo, las limitaciones de esta tecnología han ido quedando en evidencia a medida que aumentaba la conciencia sobre la necesidad de reducir el consumo energético y las emisiones de carbono, elementos que se han vuelto fundamentales en las políticas urbanas sostenibles; los avances tecnológicos, particularmente en la iluminación LED y en la energía solar fotovoltaica, han proporcionado nuevas soluciones para el alumbrado público. La iluminación LED, por su parte, ha demostrado ser mucho más eficiente en términos de consumo energético y tiene una vida útil significativamente más larga que las luminarias HPS. Esto no solo reduce los costos operativos y de mantenimiento, sino que también ofrece una calidad de luz superior, mejorando la visibilidad y la seguridad en las vías públicas. La energía solar, combinada con luminarias LED, permite la creación de sistemas de iluminación completamente autónomos, que no dependen de la red eléctrica, lo que representa un paso significativo hacia la sostenibilidad en la infraestructura urbana. (Huertas Rosero, 2022)

A nivel mundial, numerosas ciudades han emprendido la transición hacia tecnologías más eficientes en sus sistemas de alumbrado público. Experiencias en ciudades como Los Ángeles, Londres y Buenos Aires han demostrado que la adopción de luminarias LED y sistemas solares no solo resulta en una reducción significativa del consumo de energía y de los costos de mantenimiento, sino que también contribuye a la mejora de la seguridad pública y la calidad de vida de los ciudadanos. Estos proyectos han servido como referencias internacionales para justificar la viabilidad y necesidad de implementar tecnologías similares en otras regiones y países. (Cruz & Ángel, 2016)

En el contexto ecuatoriano, la creciente demanda de energía, junto con la presión por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, ha impulsado la consideración de alternativas más sostenibles para el alumbrado público. La vía Guayllabamba-Quito, debido a su alto tráfico y su importancia estratégica como una de las principales rutas de acceso a la capital desde el norte, se presenta como un candidato ideal para la implementación de un sistema de alumbrado más eficiente y sostenible. La transición de luminarias HPS a luminarias LED solares no solo responde a necesidades económicas, sino que también está en consonancia con los objetivos nacionales de sostenibilidad y eficiencia energética. (Bacuilima, 2024a)

1.4 Iluminación LED Solar: Definición y Principios de Funcionamiento

La iluminación LED solar se basa en la conversión de energía solar en energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos. Estos sistemas son autónomos y no dependen de la red eléctrica, lo que disminuye los costos operativos a largo plazo. La tecnología LED, combinada con la energía solar, ofrece una mayor durabilidad, eficiencia energética y menor necesidad de mantenimiento en comparación con las luminarias HPS y además, los sistemas LED proporcionan una mejor calidad de iluminación, con una mayor reproducción de colores y una distribución más uniforme, mejorando la seguridad en las vías. (*Comparación entre la Luz Solar LED y la Luz Convencional* / Fabricante de sistemas de iluminación solar, s. f.)

1.4.1 Eficiencia Energética y Beneficios Ambientales

La eficiencia energética es uno de los principales argumentos a favor de la tecnología LED solar. A diferencia de las luminarias HPS, que solo convierten un pequeño porcentaje de la energía en luz visible, los LED son altamente eficientes y convierten la mayor parte de la energía en luz. Además, los sistemas LED solares son más sostenibles, ya que no dependen de electricidad de fuentes no renovables y contribuyen a reducir las emisiones de CO₂. Estos beneficios son particularmente relevantes en el contexto de la lucha contra el cambio climático y los compromisos internacionales asumidos por Ecuador para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. (Alcívar-Centeno et al., 2023)

1.4.2 Análisis Económico de la Sustitución de Luminarias HPS por LED Solar

El análisis económico de la transición a sistemas LED solares considera diversos factores: el costo inicial de instalación, los costos operativos y de mantenimiento, y el tiempo de retorno de la inversión (ROI). Aunque la inversión inicial es mayor comparada con las luminarias HPS, los costos operativos y de mantenimiento son significativamente menores, ya que los sistemas LED solares tienen una vida útil más larga y no requieren conexión a la red. La reducción en el consumo energético también se traduce en ahorros importantes a largo plazo. (Vargas et al., 2016)

1.5 Tecnología LED y sus Aplicaciones en Alumbrado Público



Figura 1. Alumbrado público con luces led

Fuente: (*Mitos y realidades sobre las luminarias con tecnología LED para vialidades*, 2014)

La tecnología LED ha experimentado un crecimiento exponencial en su aplicación en sistemas de iluminación, impulsada por sus múltiples ventajas en comparación con las tecnologías de iluminación tradicionales, como las luminarias HPS. Estas ventajas son especialmente relevantes en el contexto del alumbrado público, donde la eficiencia, la durabilidad y la calidad de la luz son factores críticos. (Chantera Abarca & Tobar Estrella, 2013)

1.5.1 Alta eficiencia energética:

Las luminarias LED son conocidas por su capacidad para convertir una mayor proporción de energía en luz visible, en comparación con las luminarias HPS, que desperdician una parte considerable de la energía en forma de calor. Este alto nivel de eficiencia energética se traduce en una reducción significativa de los costos operativos, ya que se necesita menos energía para producir la misma cantidad de luz. (Arriaxa, s. f.)

1.5.2 Larga vida útil:

Una de las características más destacadas de las luminarias LED es su longevidad. Mientras que las lámparas HPS tienen una vida útil limitada y requieren reemplazos frecuentes, las luminarias LED pueden funcionar durante decenas de miles de horas sin perder su eficiencia,

lo que reduce los costos de mantenimiento y minimiza las interrupciones en el servicio. (*¿Cuál es la vida útil de una luminaria LED?*, s. f.)

1.5.3 Alta calidad de luz:

Las luminarias LED proporcionan una luz más clara y brillante, con un índice de reproducción cromática (IRC) más alto que el de las lámparas HPS. Esto significa que los colores se ven más naturales y definidos bajo la iluminación LED, mejorando la visibilidad y la seguridad, especialmente en entornos urbanos donde la percepción correcta de los colores es crucial. (*¿Qué es el índice de reproducción cromática?* | *Lamparadirecta*, s. f.)

1.5.4 Encendido instantáneo:

A diferencia de las luminarias HPS, que pueden tardar varios minutos en alcanzar su máxima luminosidad, las luminarias LED se encienden al instante y alcanzan su brillo total de inmediato. Esto es especialmente útil en situaciones donde la iluminación necesita ser restaurada rápidamente después de un corte de energía. (Guo, 2024)

1.5.5 Diseño versátil:

Las luminarias LED pueden ser diseñadas y configuradas para adaptarse a una amplia variedad de aplicaciones, desde el alumbrado de calles y carreteras hasta la iluminación de parques y zonas peatonales. Su versatilidad las hace adecuadas para casi cualquier entorno, urbano o rural. (Guaman & Paul, s. f.)

1.6 Energía Solar Fotovoltaica y su Aplicación en Alumbrado Público

La energía solar fotovoltaica ha emergido como una solución viable y sostenible para la generación de electricidad, especialmente en aplicaciones donde la independencia de la red eléctrica es deseable. En el contexto del alumbrado público, la integración de sistemas fotovoltaicos con luminarias LED ofrece una solución autónoma y altamente eficiente.

Los sistemas de alumbrado público que utilizan energía solar están compuestos generalmente por paneles solares, que capturan la radiación solar y la convierten en electricidad, baterías que almacenan la energía generada para su uso nocturno, controladores de carga que regulan el flujo de energía entre los paneles solares, las baterías y las luminarias, y las propias luminarias LED. Estos sistemas deben ser cuidadosamente dimensionados para garantizar que la cantidad de energía generada sea suficiente para satisfacer las necesidades de iluminación,

teniendo en cuenta factores como la variabilidad de la radiación solar, las condiciones climáticas locales y las características específicas del sitio de instalación.

La energía solar fotovoltaica no solo reduce la dependencia de la red eléctrica y los costos asociados, sino que también contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que la convierte en una opción altamente sostenible para el alumbrado público. Además, la implementación de sistemas solares puede ser particularmente beneficiosa en áreas remotas o con infraestructuras eléctricas limitadas, donde el acceso a la red es difícil o costoso.(Alcívar-Centeno et al., 2023)

1.7 Sistema de Iluminación Led Solar



Figura 2. Sistema de iluminación led-solar

Fuente: (*Sistema de iluminación led – solar – Morken Group, s. f.*)

El sistema de iluminación LED solar combina tecnologías eficientes de generación, almacenamiento y consumo de energía, permitiendo la iluminación autónoma en diversas aplicaciones sin depender de la red eléctrica. Su funcionamiento se basa en la conversión de energía solar en energía eléctrica, la cual es almacenada para alimentar luces LED, que ofrecen una alta eficiencia luminosa y una larga vida útil.(Rodríguez, 2020)

A continuación, se detallan los principales componentes de este sistema:

1.7.1 Panel Solar

El panel solar es el encargado de captar la radiación solar y convertirla en energía eléctrica mediante células fotovoltaicas. Los paneles solares están diseñados para maximizar la

captura de energía durante el día, la cual es luego utilizada o almacenada en una batería. (*Paneles solares ¿Cómo funcionan y qué son?*, s. f.)



Figura 3. Paneles solares

Fuente: (*Paneles solares ¿Cómo funcionan y qué son?*, s. f.)

1.7.2 Controlador de Carga

Este dispositivo regula la cantidad de energía que fluye desde el panel solar hacia la batería, evitando sobrecargas o descargas profundas que puedan dañar la batería. El controlador de carga optimiza el rendimiento del sistema y asegura la longevidad de la batería. (*Controlador de Carga Solar | Enercity S.A.*, s. f.)

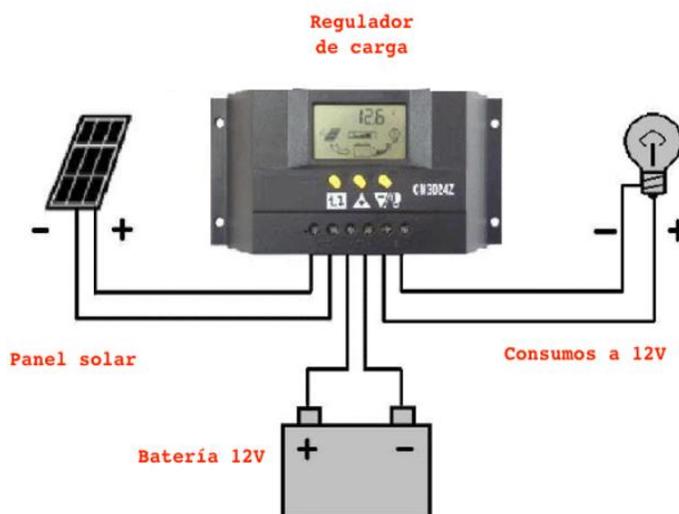


Figura 4. Controlador de Carga

Fuente: (*Controlador de Carga Solar | Enercity S.A.*, s. f.)

1.7.3 Inversor

En algunos sistemas, el inversor convierte la corriente continua (DC) generada por el panel solar y almacenada en la batería en corriente alterna (AC), que es necesaria para ciertos tipos de luminarias o dispositivos adicionales. (SotySolar, 2023)

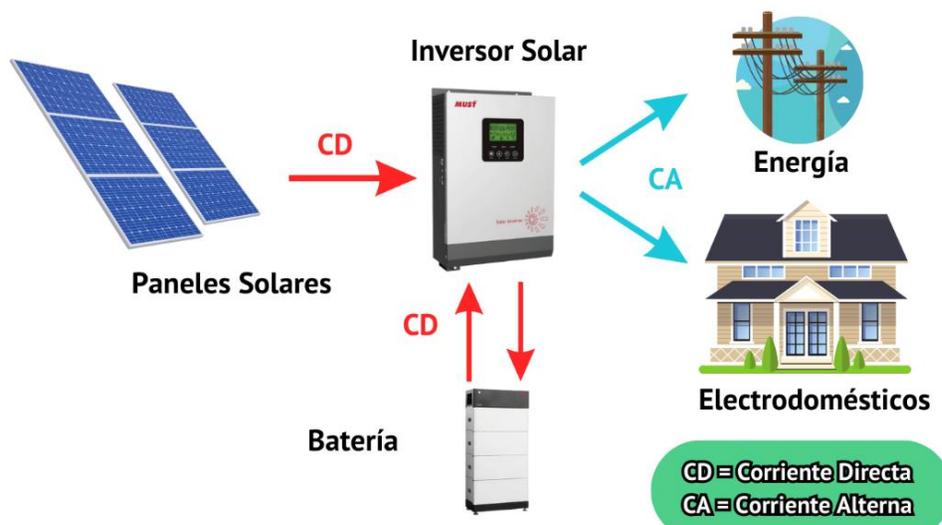


Figura 5. Funcionamiento del Inversor

Fuente: (¿Qué es un Inversor de Corriente y Cómo Funciona?, 2023)

1.7.4 Batería

La energía captada por los paneles solares se almacena en la batería para su uso durante la noche o en días nublados. Generalmente, se utilizan baterías de ciclo profundo, que están diseñadas para ofrecer un suministro constante de energía durante períodos prolongados. (casaecoenergias, 2023)



Figura 6. Baterías de Almacenamiento

Fuente: (casaecoenergias, 2023)

1.7.5 Luces LED

Las luces LED son el componente final del sistema, transformando la energía almacenada en luz visible. Las lámparas LED son altamente eficientes, consumen poca energía y tienen una vida útil prolongada en comparación con las tecnologías de iluminación tradicionales. (Alumbrado Público LED - Led Solar, s. f.)



Figura 7. Luces Led-solar en alumbrado público

Fuente: (Alumbrado Público LED - Led Solar, s. f.)

1.7.6 Normativas y Referencias actualizadas:

Las normativas municipales y provinciales pueden imponer requisitos específicos sobre la intensidad luminosa, la uniformidad de la iluminación y otros aspectos técnicos. Es necesario asegurar que el diseño del sistema cumpla con todas las regulaciones aplicables para garantizar su aceptación y efectividad. (Ordóñez & Lener, s. f.)

En el desarrollo de esta investigación, se han considerado normativas vigentes y referencias actualizadas tanto a nivel nacional como internacional en el contexto de la transición hacia tecnologías de iluminación sostenible, como los sistemas LED solares. Para asegurar la validez científica del estudio, se han revisado artículos recientes, informes de organismos internacionales y legislación nacional que abordan la eficiencia energética en alumbrado público. Se han priorizado referencias de los últimos cinco años, alineadas con directrices del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la normativa técnica de la Agencia Internacional de Energía (IEA) y regulaciones locales de Ecuador. Estas fuentes permiten fundamentar las

decisiones técnicas y económicas propuestas, asegurando un enfoque riguroso y ético. (Ponce, s. f.)

El alumbrado público es un componente esencial de la infraestructura urbana, con un impacto directo en la seguridad vial, la calidad de vida de los ciudadanos y la estética de las ciudades. Como tal, está sujeto a una regulación estricta que establece los estándares técnicos y de calidad que deben cumplir los sistemas de alumbrado público. Estos estándares incluyen especificaciones sobre la intensidad luminosa, la uniformidad de la iluminación, la distribución de la luz, y el control del deslumbramiento, entre otros aspectos.

En muchos países, la normativa también aborda aspectos relacionados con la eficiencia energética y el impacto ambiental de los sistemas de alumbrado público, promoviendo el uso de tecnologías más sostenibles como las luminarias LED y la energía solar. La conformidad con estas regulaciones es crucial para asegurar que los sistemas de alumbrado público no solo proporcionen una iluminación adecuada, sino que también contribuyan a los objetivos más amplios de sostenibilidad y reducción de emisiones de carbono. (Secue et al., s. f.)

En un sistema de iluminación LED solar, la distancia entre postes y la potencia de las luminarias son factores determinantes para garantizar una iluminación uniforme y eficiente en vías urbanas y rurales. Según la normativa específica aplicable al proyecto, se establece que, para asegurar un correcto nivel de iluminación y una distribución homogénea de la luz, la distancia entre postes puede variar según la potencia de las luminarias. Para luminarias de mayor potencia, como las de 400 W, se recomienda una separación de aproximadamente 40 metros. Esta distancia es crucial para evitar áreas oscuras entre los puntos de luz, manteniendo así una visibilidad constante y adecuada a lo largo de toda la vía; en el caso de luminarias de potencias inferiores, como las de 250 W, 150 W o 100 W, la distancia recomendada puede oscilar entre 35 y 40 metros, dependiendo del tipo de vía y las condiciones específicas del entorno. Esta separación asegura que se cumplan los estándares de uniformidad y nivel de iluminación definidos en la normativa, los cuales son esenciales para garantizar la seguridad tanto de los conductores como de los peatones. Además, la ubicación de los postes debe respetar criterios adicionales, como estar a una distancia mínima de 6 metros de las líneas divisorias de propiedades y a 7 metros de la acera en intersecciones, para no interferir con el tránsito. (*Parte A - Norma Eeq - Revisio N 07 - Final*, s. f.)

1.7.7 Infraestructura:

La existencia de infraestructura eléctrica, postes de alumbrado y otros elementos relacionados puede influir en la decisión de adoptar un sistema completamente autónomo o uno híbrido, que combine energía solar con conexión a la red eléctrica.(Santana, s. f.)

1.8 Antecedentes

Históricamente, las luminarias HPS fueron la opción preferida para el alumbrado público debido a su larga vida útil y su capacidad para producir una luz cálida que penetra bien en condiciones de niebla y lluvia. Sin embargo, la creciente conciencia sobre la necesidad de reducir el consumo energético y las emisiones de carbono ha puesto en evidencia las limitaciones de esta tecnología. Los avances en la tecnología LED (diodo emisor de luz) y la energía solar han proporcionado nuevas oportunidades para mejorar los sistemas de iluminación pública.(Huertas Rosero, 2022)

Las luminarias LED ofrecen numerosas ventajas sobre las HPS. Son más eficientes energéticamente, consumen menos energía para producir la misma cantidad de luz y tienen una vida útil significativamente más larga, lo que reduce los costos de mantenimiento. Además, las luminarias LED tienen una mejor calidad de luz, con mayor capacidad de iluminación y mejor reproducción de colores. La integración de sistemas de energía solar con luminarias LED puede eliminar por completo la dependencia de la red eléctrica, proporcionando un sistema de iluminación autónomo y sostenible.(Cruz & Ángel, 2016)

Generalmente a nivel mundial, muchas ciudades y municipios han comenzado a adoptar tecnología LED y solar para sus sistemas de alumbrado público. Estos cambios han sido motivados por la necesidad de reducir costos operativos y el impacto ambiental de las operaciones municipales. Estudios y proyectos en ciudades como Los Ángeles, Londres y Buenos Aires han demostrado que la transición a luminarias LED puede resultar en ahorros significativos en consumo de energía y costos de mantenimiento, además de mejorar la seguridad pública y la calidad de vida de los ciudadanos.

En Ecuador, la creciente demanda de energía y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han llevado a considerar la modernización de la infraestructura de alumbrado público. La vía Guayllabamba-Quito, con su alto tráfico y relevancia estratégica, es un candidato ideal para la implementación de un sistema de iluminación más eficiente y

sostenible. La sustitución de las luminarias HPS por luminarias LED solares no solo responde a una necesidad económica y ambiental, sino que también se alinea con los objetivos nacionales de sostenibilidad y eficiencia energética.(Bacuilima, 2024b)

La decisión de emprender este proyecto se basa en la necesidad de mejorar la eficiencia energética y reducir los costos operativos del sistema de alumbrado público de la vía Guayllabamba-Quito. La transición a luminarias LED solares representa una oportunidad para adoptar una tecnología más avanzada y sostenible, mejorar la calidad de iluminación, y contribuir a los objetivos de reducción de emisiones de carbono. Los antecedentes históricos y las experiencias de otras ciudades y países proporcionan un marco referencial sólido que justifica la viabilidad y la necesidad de este proyecto.(UPS-GT003223.pdf, s. f.)

Finalmente sabemos que la sustitución de luminarias HPS por luminarias LED solares en el sistema de alumbrado público de la vía Guayllabamba-Quito se presenta como una solución técnicamente sólida y económicamente viable, que responde a los desafíos actuales de eficiencia energética y sostenibilidad. Las ventajas de la tecnología LED, combinadas con los beneficios de la energía solar fotovoltaica, proporcionan una base sólida para justificar la inversión en este tipo de proyectos. La experiencia internacional, junto con el marco normativo local, respalda la implementación de este proyecto como un paso clave hacia la modernización y sostenibilidad del alumbrado público en Ecuador, con beneficios que van más allá de los meramente económicos, impactando positivamente tanto en la sociedad como en el medio ambiente.

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1 Enfoque metodológico de la investigación

El enfoque metodológico adoptado para esta investigación es estrictamente cuantitativo, con un carácter exploratorio. Se centra en la recopilación, análisis y tratamiento de datos numéricos, permitiendo evaluar los aspectos técnicos y económicos de las luminarias HPS y LED solares, sin incluir consideraciones sociales o ambientales.

Este enfoque cuantitativo busca obtener una comprensión precisa y objetiva de las variables que afectan el desempeño y la viabilidad económica de las tecnologías de iluminación evaluadas. La metodología se basa en datos concretos y medibles, lo cual es esencial para la generación de resultados confiables y replicables.

Para la recopilación y análisis de estos datos, se utilizarán herramientas estadísticas avanzadas y software especializado en simulaciones. Estas herramientas permiten modelar diferentes escenarios, predecir resultados a largo plazo y evaluar el impacto económico de la implementación de luminarias LED solares en comparación con las luminarias HPS tradicionales. Se realizarán cálculos detallados sobre variables críticas como el consumo de energía, los costos de instalación y mantenimiento, la durabilidad de las luminarias y la eficiencia lumínica.

Las simulaciones desempeñan un papel fundamental en esta investigación, ya que permiten evaluar el desempeño de las luminarias en condiciones controladas y reproducir diferentes escenarios operativos sin la necesidad de intervenir físicamente en el entorno real. Esto incrementa la precisión del análisis y facilita la identificación de las mejores prácticas para optimizar la eficiencia energética y reducir costos operativos.

Este estudio exploratorio ofrece una visión integral de las capacidades y limitaciones de las tecnologías de iluminación estudiadas, enfocándose exclusivamente en sus características técnicas y económicas. En lugar de realizar mediciones de campo directas, se emplearán planos y especificaciones proporcionadas por la Empresa Eléctrica Quito (EEQ), que serán analizados mediante software especializado. Esta metodología permite simular con precisión las

condiciones operativas reales de la vía Guayllabamba-Quito, asegurando que el análisis sea exhaustivo y riguroso sin necesidad de realizar intervenciones físicas en el lugar.

Al utilizar un enfoque metodológico cuantitativo, esta investigación se centra en proporcionar resultados objetivos y medibles, fundamentales para la toma de decisiones informadas. La exclusión de elementos cualitativos garantiza que el estudio se mantenga en un ámbito técnico y económico, evitando cualquier sesgo relacionado con factores sociales o ambientales. Esto asegura que la evaluación de la viabilidad del proyecto de implementación de luminarias LED solares en la vía Guayllabamba-Quito se realice de manera clara, precisa y fundamentada en datos cuantificables y replicables.

2.2 Población, unidades de estudio y muestra y/o Unidad de Análisis

La vía Guayllabamba-Quito es una arteria crucial que conecta varias zonas hacia el norte de la capital ecuatoriana, facilitando el tránsito de miles de vehículos diariamente. Esta carretera no solo soporta un alto volumen de tráfico de vehículos privados y comerciales, sino que también es una ruta esencial para el transporte público, lo que la convierte en una infraestructura vital para la movilidad y la economía de la región. Sin embargo, el sistema de alumbrado público actual en esta vía presenta múltiples desafíos que afectan tanto a la eficiencia operativa como a la seguridad de los usuarios.

El entorno de desarrollo del proyecto se caracteriza por su variabilidad climática, con condiciones que pueden incluir desde fuertes lluvias hasta períodos de alta nubosidad, lo que aumenta la necesidad de un sistema de iluminación confiable y de alta calidad. Las luminarias de sodio de alta presión (HPS) actualmente instaladas han sido el estándar durante años debido a su capacidad de proporcionar una iluminación potente. No obstante, estas luminarias tienen serias desventajas: son ineficientes en términos de consumo energético, tienen una vida útil limitada, y su mantenimiento es costoso y frecuente debido a la tendencia de estas luces a quemarse rápidamente. *(Caja-de-herramientas-Cambio-Climático-.pdf, s. f.)*

En el contexto de un mundo que cada vez más valora la sostenibilidad y la eficiencia energética, el uso continuo de luminarias HPS en una vía tan transitada es insostenible. El alto consumo de energía no solo resulta en elevados costos para las autoridades locales, sino que también contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero. La transición a tecnologías más modernas, como las luminarias LED solares, se presenta como una

solución viable y necesaria para afrontar estos desafíos. (*¿Qué es la eficiencia energética y cómo aporta a la sostenibilidad del hogar?*, s. f.)

Las luminarias LED solares ofrecen múltiples beneficios en comparación con las HPS. En primer lugar, son mucho más eficientes en términos de consumo energético, lo que reduce significativamente los costos operativos a largo plazo. Además, las luminarias LED tienen una vida útil más larga y requieren menos mantenimiento, lo que disminuye las interrupciones en el servicio y reduce los costos asociados al reemplazo y reparación. La tecnología LED también proporciona una mejor calidad de luz, con una distribución más uniforme y una reproducción de colores más precisa, mejorando así la visibilidad y la seguridad en la vía. (Alcívar-Centeno et al., 2023)

La implementación de luminarias LED solares en la vía Guayllabamba-Quito también está alineada con los objetivos nacionales e internacionales de sostenibilidad. La reducción del consumo de energía eléctrica y la utilización de fuentes de energía renovable, como la solar, contribuyen a disminuir la huella de carbono y avanzar hacia un futuro más sostenible. Además, este proyecto puede servir como modelo para otras vías y ciudades en Ecuador y la región, demostrando los beneficios de la adopción de tecnologías de iluminación más eficientes y ecológicas; desarrollándose así en un contexto de alta demanda de movilidad y la necesidad de mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental. La transición a un sistema de iluminación más moderno y eficiente no solo mejorará la calidad de vida de los usuarios de la vía, sino que también contribuirá a los objetivos de sostenibilidad y reducción de costos operativos, estableciendo un precedente positivo para futuras iniciativas similares. (Nations, s. f.)

2.3 Metodología

Para llevar a cabo el análisis técnico y económico de la sustitución de luminarias de sodio HPS por luminarias LED solares en el sistema de alumbrado público de la vía Guayllabamba-Quito, se implementará una metodología estructurada en varias fases, cada una diseñada para abordar aspectos clave del proyecto, desde la recolección de datos hasta la formulación de recomendaciones finales.

2.3.1 Materiales y Herramientas Necesarias:

- **Bibliotecas y Recursos Digitales:** Se utilizarán fuentes confiables que proporcionen información actualizada sobre políticas energéticas, regulaciones gubernamentales, y estudios previos relacionados con la sustitución de luminarias HPS por tecnología LED solar. Estos recursos serán esenciales para contextualizar el proyecto y asegurar que se cumplan todas las normativas aplicables.
- **Software de Gestión de Referencias:** Para mantener un seguimiento organizado de todas las fuentes consultadas y asegurar un adecuado manejo de las citas bibliográficas, se utilizará un software especializado en gestión de referencias. Esto garantizará que el trabajo cumpla con los estándares académicos y profesionales.
- **Herramientas de Análisis de Datos:** Se emplearán hojas de cálculo avanzadas y software especializado en análisis de datos para procesar y sintetizar la información recopilada. Estas herramientas facilitarán la creación de modelos financieros y comparativos, así como la proyección de los ahorros y el retorno de inversión (ROI) del proyecto.
- **Muestras de Luminarias LED Solares:** Para realizar pruebas preliminares, se obtendrán muestras de luminarias LED solares que permitan evaluar su rendimiento bajo condiciones controladas antes de aplicar los resultados al análisis comparativo.

2.3.2 Etapas Metodológicas:

1. **Recolección de Datos:** La primera etapa consiste en la recopilación exhaustiva de datos sobre el rendimiento actual de las luminarias HPS instaladas en la vía Guayllabamba-Quito. Estos datos incluirán mediciones del consumo energético, costos operativos y de mantenimiento, frecuencia de fallos, y calidad de la iluminación. Además, se recogerá información sobre la vida útil de estas luminarias y su impacto ambiental, como el nivel de emisiones de CO₂ y otros contaminantes asociados a su uso.
2. **Diseño y Simulación del Nuevo Sistema:** Basándose en las normativas vigentes, especialmente las relacionadas con la distancia entre postes y la distribución óptima de la luz, se diseñará un modelo de sistema de iluminación utilizando luminarias LED solares. Este modelo considerará no solo la eficiencia energética, sino también la

durabilidad y el desempeño lumínico, asegurando que cumpla con los requisitos técnicos necesarios para su implementación en la vía.

3. **Análisis Comparativo:** Se llevará a cabo un análisis comparativo exhaustivo entre las luminarias HPS existentes y las propuestas LED solares. Este análisis incluirá una evaluación de los costos de instalación, el ahorro en el consumo energético, la reducción de costos de mantenimiento, y el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de las luminarias. Se proyectarán los ahorros a largo plazo, y se calculará el retorno de la inversión (ROI), proporcionando una visión clara de los beneficios económicos y ambientales de la transición tecnológica.
4. **Elaboración de Recomendaciones Finales:** Con base en los resultados obtenidos del análisis comparativo, se redactará un informe final que incluirá recomendaciones detalladas para la implementación del sistema de iluminación LED solar en la vía Guayllabamba-Quito. Este informe abordará los beneficios esperados, los posibles desafíos y las estrategias necesarias para superar dichos obstáculos. También se ofrecerán pautas prácticas para una implementación eficaz, asegurando que el proyecto sea viable desde un punto de vista técnico, económico y regulatorio.

CAPÍTULO III

PROPUESTA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO

3.1 Fundamentos de la Propuesta

La propuesta para la sustitución de luminarias de sodio de alta presión (HPS) por luminarias LED solares en el sistema de alumbrado público en ciudades de altura como en este caso de estudio en la vía Guayllabamba-Quito se fundamenta en varios principios clave derivados tanto de consideraciones técnicas como económicas. Estos principios son esenciales para justificar la transición hacia un sistema de alumbrado público más eficiente, sostenible y alineado con las tendencias actuales en tecnología de iluminación.

En primer lugar, el incremento de la eficiencia energética es uno de los pilares de esta propuesta. Las luminarias HPS, aunque han sido ampliamente utilizadas durante décadas, presentan una eficiencia energética limitada. Consumen grandes cantidades de energía para producir luz, lo que se traduce en elevados costos operativos y un impacto ambiental considerable debido al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por el contrario, las luminarias LED solares son reconocidas por su alta eficiencia energética, capaz de generar una mayor cantidad de luz con un consumo energético significativamente menor. Este aumento en la eficiencia energética no solo se refleja en una reducción de los costos de operación, sino también en una menor huella de carbono, contribuyendo así a los objetivos globales de sostenibilidad ambiental.

Otro fundamento crucial de la propuesta es la durabilidad y menor necesidad de mantenimiento que ofrecen las luminarias LED en comparación con las HPS. Las luminarias HPS tienen una vida útil relativamente corta y requieren un mantenimiento frecuente debido a su tendencia a fallar y a degradarse con rapidez. Esto no solo genera interrupciones en el servicio, sino que también incrementa los costos operativos y de mantenimiento. En contraste, las luminarias LED tienen una vida útil significativamente más larga, lo que reduce la frecuencia de reemplazos y las necesidades de mantenimiento. Esta durabilidad se traduce en un sistema de alumbrado público más confiable y rentable a largo plazo.

La autonomía energética proporcionada por el uso de paneles solares es otro aspecto central en los fundamentos de esta propuesta. Al integrar paneles solares con tecnología LED,

se crea un sistema de alumbrado autónomo que no depende de la red eléctrica convencional. Esta independencia no solo asegura un suministro constante de luz, incluso en caso de fallos en la red, sino que también elimina los costos asociados al consumo de energía de la red. Además, el aprovechamiento de la energía solar, una fuente renovable y abundante, refuerza el compromiso con la sostenibilidad ambiental y con la reducción de la dependencia de fuentes de energía no renovables.

Desde un punto de vista económico, la propuesta se apoya en un análisis de costo-beneficio que demuestra la viabilidad financiera del proyecto. Aunque la inversión inicial en luminarias LED solares es mayor que la requerida para las luminarias HPS, los ahorros generados a largo plazo en términos de consumo energético reducido y menores costos de mantenimiento compensan con creces esta inversión inicial. Los modelos financieros proyectan un retorno de la inversión en un plazo razonable, haciendo que la transición no solo sea técnicamente viable, sino también económicamente justificable.

Finalmente, esta propuesta también está respaldada por la tendencia global hacia la sostenibilidad y el cumplimiento de normativas ambientales más estrictas. La transición hacia sistemas de iluminación más eficientes y ecológicos se alinea con las políticas públicas y compromisos internacionales en materia de cambio climático y eficiencia energética. Además, esta iniciativa podría servir como un modelo replicable para otras vías y regiones del país, impulsando un cambio más amplio hacia prácticas de iluminación pública más sostenibles en Ecuador.

3.2 Presentación de la Propuesta

La propuesta para la sustitución de luminarias de sodio de alta presión (HPS) por luminarias LED solares en el sistema de alumbrado público en ciudades de altura como en este caso de estudio en la vía Guayllabamba-Quito se presenta como un proyecto integral que busca mejorar la eficiencia energética y reducir los costos operativos del sistema de alumbrado público. Esta propuesta se estructura en varios componentes clave, cada uno diseñado para garantizar la viabilidad técnica, económica y operativa del proyecto, y se acompaña de recomendaciones metodológicas para su implementación práctica. A continuación, se menciona los Componentes de la Propuesta:

3.2.1 Evaluación del Sistema Actual:

- **Análisis de Rendimiento:** Se lleva a cabo un estudio exhaustivo del rendimiento de las luminarias HPS actualmente instaladas en la vía. Este análisis incluye la recolección de datos sobre el consumo energético, la durabilidad, los costos de mantenimiento, y la frecuencia de fallos de las luminarias. Este diagnóstico permite identificar las principales áreas de mejora y establece un punto de comparación para evaluar los beneficios de las luminarias LED solares.
- **Identificación de Deficiencias:** A través del análisis, se destacan las limitaciones del sistema actual, como el alto consumo energético y los costos operativos elevados, lo que subraya la necesidad de un sistema de iluminación más eficiente y de bajo mantenimiento.

3.2.2 Análisis Comparativo del reemplazo y Proyección de Resultados:

- **Evaluación Económica:** Se realiza un análisis comparativo entre los costos asociados al sistema actual de luminarias HPS y el sistema propuesto de luminarias LED solares. Este análisis incluye la evaluación de los costos iniciales de instalación, los ahorros proyectados en consumo energético, y la reducción en los costos de mantenimiento. Se calculan los periodos de retorno de la inversión (ROI), demostrando la viabilidad económica del proyecto.
- **Proyección de Beneficios:** Se proyectan los beneficios a largo plazo de la implementación del sistema LED solar, considerando la reducción de los costos operativos y la mejora en la confiabilidad del sistema de iluminación.

3.2.3 Análisis del Diseño del Sistema de Iluminación LED Solar:

- **Especificaciones Técnicas:** El nuevo sistema se diseña considerando las características específicas de la vía Guayllabamba-Quito, como su longitud, disposición de los postes, y condiciones climáticas locales. Se seleccionan luminarias LED con alta eficiencia lumínica y un diseño que optimiza la distribución de la luz, garantizando una cobertura uniforme y adecuada para las necesidades de iluminación de la vía.
- **Integración de Energía Solar:** Se incorporan paneles solares que capturan la energía durante el día y la almacenan en baterías de alta capacidad para alimentar

las luminarias LED durante la noche. Este diseño asegura un funcionamiento autónomo y continuo del sistema, reduciendo la dependencia de la red eléctrica convencional.

3.3 Ejecución de la Propuesta

La ejecución de la propuesta para la sustitución de luminarias de sodio HPS por luminarias LED solares en la vía Guayllabamba-Quito es un proceso integral que requiere una planificación detallada y una implementación meticulosa en su futuro. Esta etapa incluye el desarrollo de todas las acciones necesarias para asegurar que el nuevo sistema de alumbrado funcione de manera óptima y cumpla con los objetivos establecidos en términos de eficiencia energética, sostenibilidad y reducción de costos operativos.

De acuerdo con el estudio realizado, en un futuro se proyecta la instalación de luminarias LED solares a lo largo del tramo seleccionado de la vía Guayllabamba-Quito. Estas luminarias están diseñadas para ofrecer una iluminación de alta calidad, lo que mejorará la visibilidad durante la noche y, por ende, aumentará la seguridad vial. El sistema LED solar asegura un funcionamiento independiente, aprovechando la energía captada durante el día para iluminar la vía durante la noche, incluso en situaciones climáticas desfavorables.

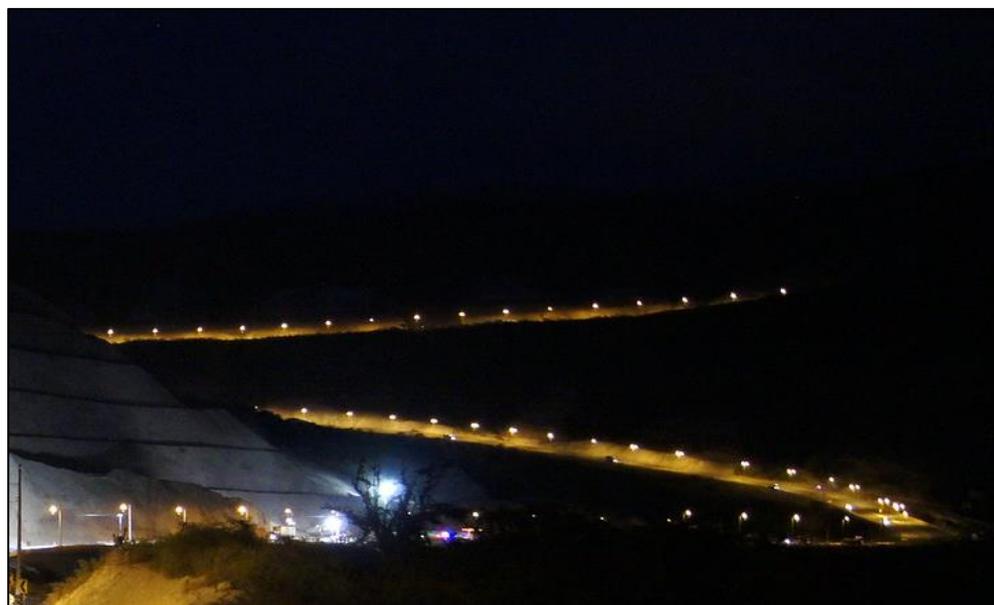


Figura 8. Vía Guayllabamba-Quito en la noche

Fuente: Autor

Durante la instalación, se deben considerar las condiciones específicas del entorno, como la inclinación del terreno, la disposición actual de los postes y las condiciones climáticas locales. El sistema de iluminación debe ser capaz de adaptarse a estas variables para asegurar una distribución uniforme de la luz y un rendimiento óptimo en todo momento.



Figura 9. Tramo de la Vía Guayllabamba-Quito al atardecer

Fuente: Autor

3.3.1 Ubicación, Medida de Poste a Poste y datos de la vía Guayllabamba-Quito

El mapa de la ubicación de la vía Guayllabamba-Quito ilustra de manera precisa el trayecto que será intervenido con el nuevo sistema de alumbrado LED solar. Este tramo es de vital importancia, ya que conecta la región de Guayllabamba con la ciudad de Quito, siendo una de las rutas más transitadas del norte del país. La visualización de la ubicación permite identificar los puntos clave donde se realizarán las mejoras, facilitando la planificación de la instalación de las luminarias y optimizando la distribución de los postes de luz. Este mapa es fundamental para comprender la extensión de la intervención y la importancia estratégica de garantizar una iluminación eficiente y sostenible a lo largo de toda la vía.

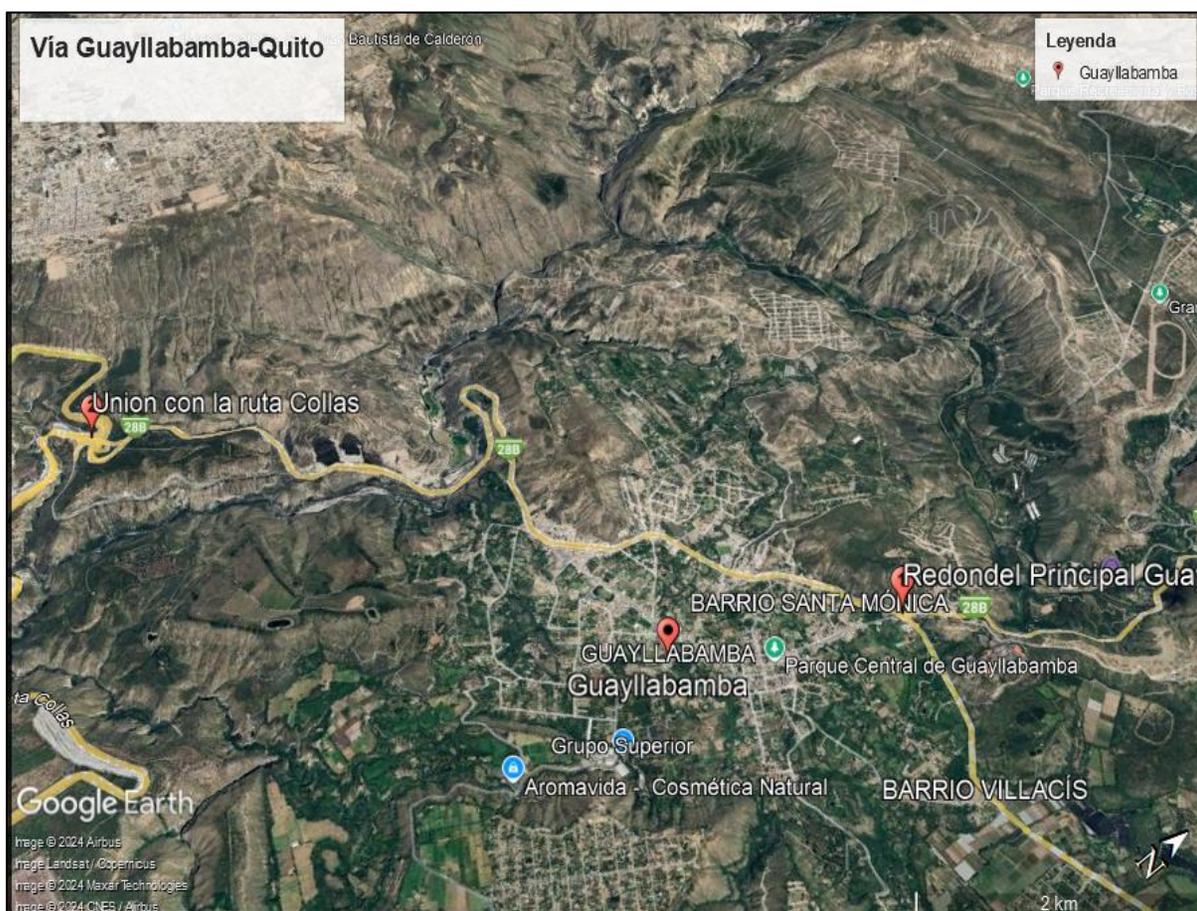


Figura 10. Ubicación de la Vía Guayllabamba-Quito

Fuente: (Google Earth)

En la planificación del sistema de alumbrado LED solar para la vía Guayllabamba-Quito, se ha considerado la normativa que regula la distancia entre postes de iluminación, la cual establece que la separación debe ser de 35 a 40 metros para garantizar una distribución uniforme de la luz y evitar zonas oscuras que puedan afectar la seguridad vial. Esta distancia es crucial para asegurar que toda la vía esté adecuadamente iluminada, proporcionando visibilidad constante tanto para conductores como para peatones, lo que es esencial en un tramo de alta circulación. La correcta aplicación de esta norma asegura un sistema de alumbrado eficiente y seguro, cumpliendo con los estándares de calidad y seguridad necesarios para infraestructuras viales.

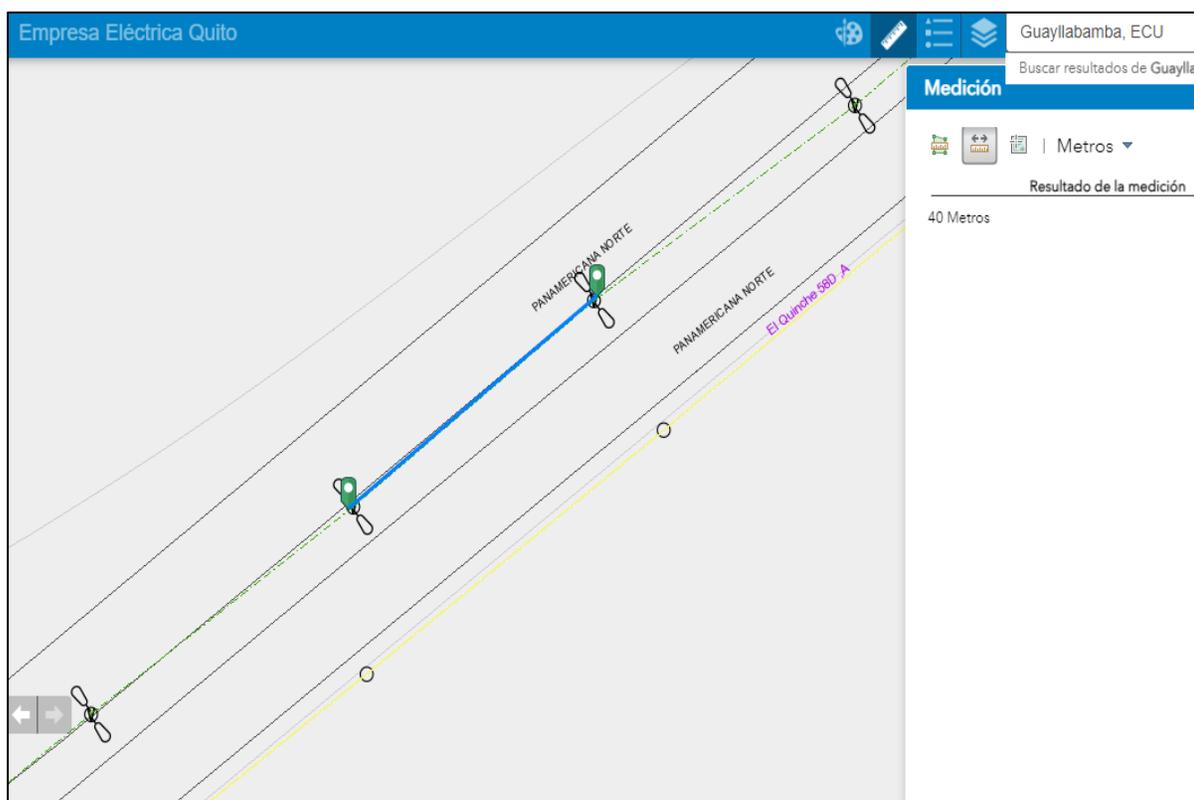


Figura 11. Medida de poste a poste

Fuente: (WEBGIS)



Figura 12. Modelo del poste metálico

Fuente:(Proveedores y fabricantes de postes de luz de calle de doble brazo personalizados de China -
Venta al por mayor directa de fábrica - PHOEBUS, s. f.)

La propuesta incluye la actualización del sistema de distribución eléctrica donde sea necesario, para soportar la instalación de luminarias LED solares. Este aspecto es crucial para garantizar que el sistema funcione de manera eficiente y que las luminarias reciban la energía necesaria, ya sea directamente desde los paneles solares o a través de la red subterránea en áreas donde el sistema híbrido sea más adecuado.

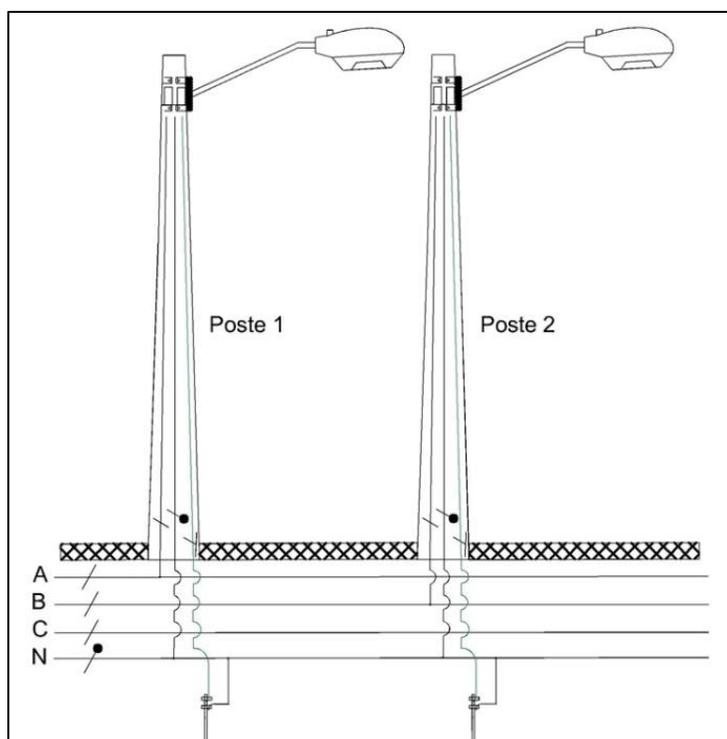


Figura 13. Circuito de alumbrado público con postes metálicos en red subterránea

Fuente: (*Generalidades 6.2. Circuitos de alumbrado público / Likinormas (enelcol.com.co)*, s. f.)

El inicio del tramo de la vía Guayllabamba-Quito, ubicado en el redondel principal de Guayllabamba, es un área crucial para la instalación del nuevo sistema de alumbrado LED solar. Este punto es de alta importancia debido a la gran cantidad de tráfico que circula por la zona. La implementación de luminarias LED solares en este sector tiene como objetivo mejorar significativamente la visibilidad nocturna, lo que contribuirá a aumentar la seguridad para los conductores y peatones. Además, el uso de energía solar reducirá los costos operativos y disminuirá la dependencia de la red eléctrica tradicional.



Figura 14. Comienzo de la vía en el redondel principal de Guayllabamba

Fuente: (WEBGIS)

En el primer tramo de la vía, después del redondel principal, se encuentran las luminarias actuales que serán reemplazadas por la nueva tecnología LED solar. Este segmento es particularmente importante debido a su alta densidad de tráfico. La actualización a luminarias LED solares permitirá una distribución más uniforme de la luz, lo que mejorará la visibilidad y seguridad en horas nocturnas. Asimismo, el sistema solar contribuirá a un ahorro significativo en el consumo energético, al mismo tiempo que garantiza un suministro constante de iluminación.

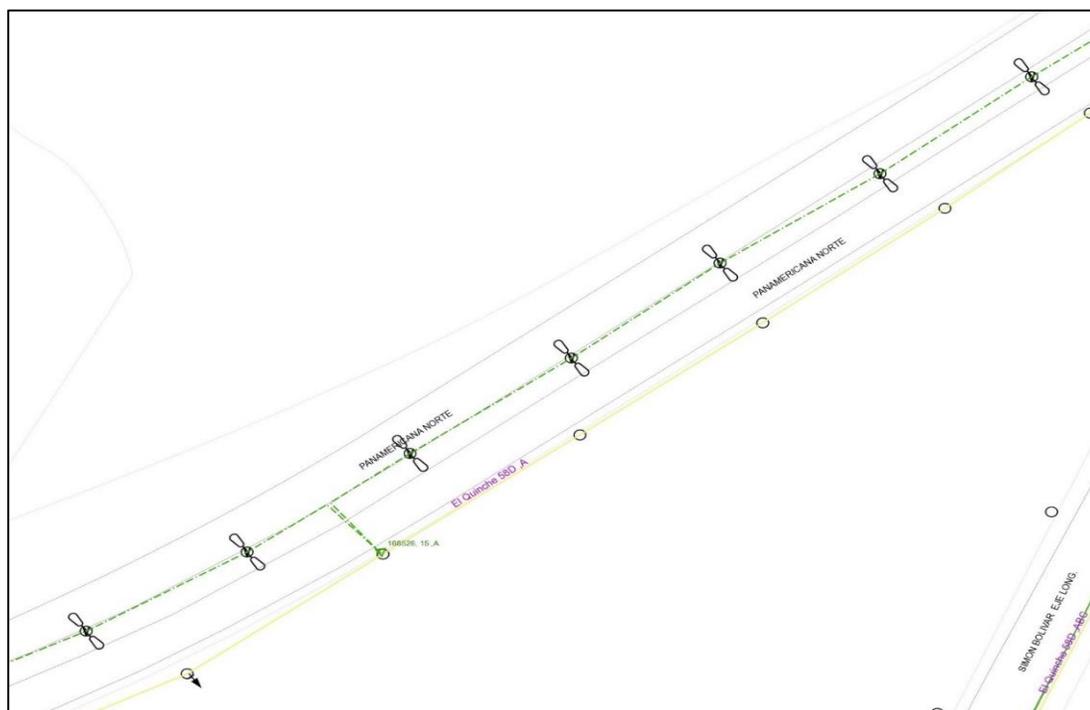


Figura 15. Luminarias de la vía en el primer tramo principal de Guayllabamba

Fuente: (WEBGIS)

En el tramo final de la vía Guayllabamba-Quito, donde se une con la Ruta Collas, la implementación de luminarias LED solares adquiere una relevancia particular debido a la necesidad de una iluminación óptima en esta intersección estratégica. Este punto de convergencia es crucial para garantizar la seguridad de los usuarios, ya que conecta dos importantes arterias viales. Las luminarias LED solares instaladas en esta zona están diseñadas para proporcionar una luz clara y uniforme, mejorando la visibilidad durante la noche y en condiciones climáticas adversas. La transición a esta tecnología no solo reduce el consumo energético, sino que también asegura un sistema de alumbrado más confiable y de bajo mantenimiento, adecuado para un área con un alto flujo vehicular y que demanda una iluminación constante y eficiente

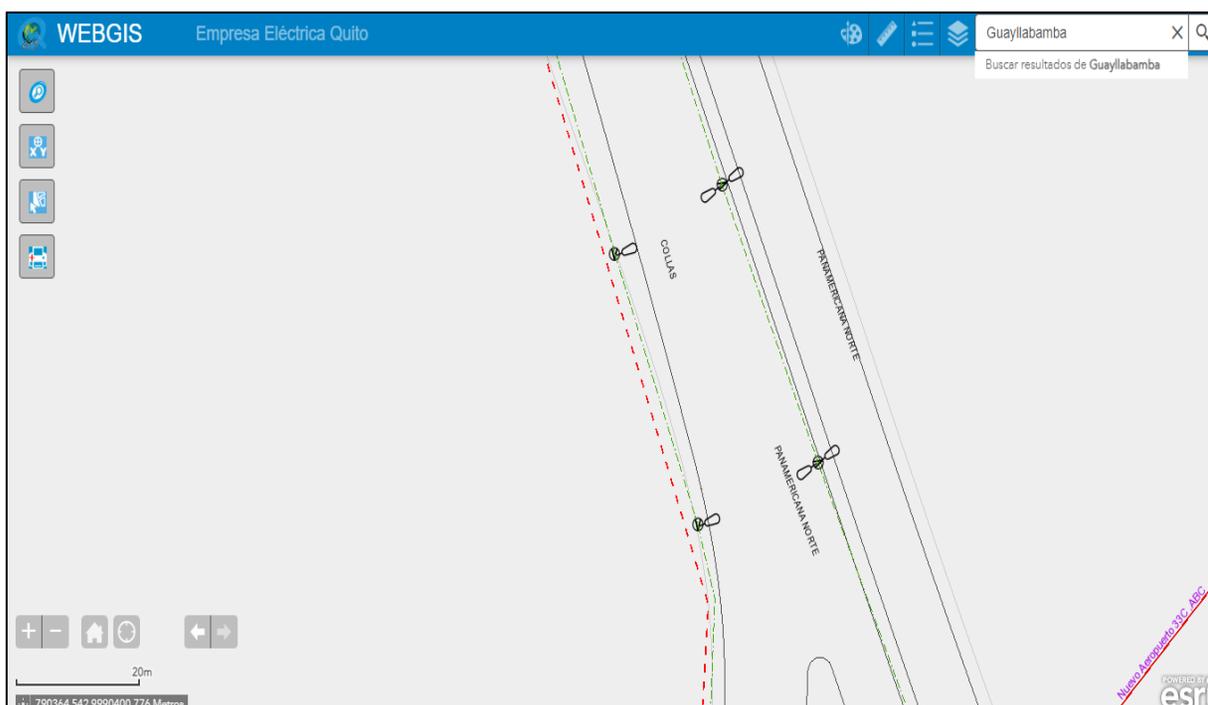


Figura 16. Luminarias en la unión con en el Intercambiador Collas

Fuente: (WEBGIS)

3.3.2 Modelo de luminaria, Tramos y Transformador instalados en la vía Guayllabamba-Quito

Según los datos obtenidos del programa online de la Empresa Eléctrica WEBGIS, las luminarias instaladas actualmente en el tramo analizado de la vía Guayllabamba-Quito son de sodio y tienen una potencia de 400 W. Estas luminarias, aunque potentes, se caracterizan por un alto consumo energético y una vida útil limitada, lo que genera costos operativos y de mantenimiento significativos. Además, los postes que sostienen estas luminarias son de metal, lo que proporciona una estructura robusta y duradera. Sin embargo, la tecnología de sodio utilizada presenta desventajas en términos de eficiencia y calidad de luz, aspectos que se busca mejorar con la propuesta de reemplazo por luminarias LED solares, que ofrecerían una iluminación más eficiente y sostenible, al tiempo que aprovecharían la infraestructura metálica existente.

Luminaria:Sodio Cerrada	
Codigo Estructura	LDSS400PDC
ALIMENTADORID	El Quinche 58D
FASECONEXION	A
POTENCIA	400,00
Fase de Bajo Voltaje	ab

Poste:Poste Metalico	
Codigo Estructura	PEO11

Figura 17. Datos de las luminarias y postes

Fuente: (WEBGIS)

Según los datos recopilados del programa WEBGIS de la Empresa Eléctrica, el tramo de la vía Guayllabamba-Quito cuenta con dos tipos de instalaciones de distribución eléctrica: un Tramo BT Subterráneo y un Tramo BT Aéreo. El Tramo BT Subterráneo corresponde a un tramo BTS monofásico, operando a un voltaje de 240 V, con un conductor identificado bajo el código TTU.Cu.2. Esta configuración subterránea es ideal para proteger el cableado de las condiciones climáticas, reduciendo la exposición a daños externos y mejorando la seguridad del sistema eléctrico. Por otro lado, el Tramo BT Aéreo se refiere a un bajante BTA monofásico, también operando a un voltaje de 240 V, pero utilizando un conductor con el código TW.Cu.12. Este tipo de instalación aérea es más accesible para labores de mantenimiento, aunque está más expuesto a factores ambientales. Ambas configuraciones son cruciales para la operación estable del sistema de alumbrado en la vía, asegurando una distribución eléctrica confiable para las luminarias instaladas.

Tramo BT Subterraneo:Tramo BTS Monofasico		Tramo BT Aereo:Bajante BTA Monofasica	
Alim1	El Quinche 58D	Alim1	El Quinche 58D
Fase Conexion	A	Fase Conexion	A
VOLTAJE	240 V	VOLTAJE	240 V
Codigo Conductor Fase	TTU.Cu.2	Codigo Conductor Fase	TW.Cu.12
Codigo Conductor Neutro		Codigo Conductor Neutro	
SECUENCIAFASE	a	SECUENCIAFASE	a

Figura 18. Datos de los tramos BT subterráneo y aéreo

Fuente: (WEBGIS)

Según los datos proporcionados por el sistema WEBGIS de la Empresa Eléctrica Quito, un transformador monofásico instalado en un poste tiene un voltaje de 13.16 kV y una potencia nominal de 15 kVA, lo que lo convierte en un componente esencial para la distribución eficiente de energía eléctrica. Este transformador, al operar en media tensión, reduce el voltaje de la red de transmisión a niveles adecuados para su distribución local, garantizando un suministro estable y confiable. Su capacidad de 15 kVA permite manejar la carga asignada sin riesgo de sobrecarga, mientras que su instalación aérea optimiza el espacio y minimiza los costos de infraestructura, aunque requiere mantenimiento regular debido a la exposición a factores ambientales.

Transformador Monofásico en Poste	
Alimentador	Nuevo Aeropuerto 33C
Codigo Puesto	168531
Fase Conexión	A
Voltaje	13.16 kV
Potencia (kva)	15,00
Propiedad	PARTICULAR

Figura 19. Datos del transformador en poste

Fuente: (WEBGIS)

3.3.3 Características de la luminaria reemplazable sodio

La luminaria de sodio de 400W, específicamente el modelo MASTER SON-T PIA Plus, se destaca por su alto flujo luminoso nominal de 55,800 lúmenes, lo que la sitúa dentro del rango superior para este tipo de lámparas. Este valor refleja su capacidad para proporcionar una iluminación potente y consistente, adecuada para aplicaciones donde se requiere un alto nivel de luminosidad, como en vías públicas, áreas industriales y grandes espacios abiertos. (MASTER SON-T PIA Plus.pdf, s. f.)



Figura 20. Datos del transformador en poste

Fuente:(*MASTER SON-T PIA Plus.pdf*, s. f.)

- Modelo: MASTER SON-T PIA Plus 400W E E40
- Base de lámpara: E40
- Posición de funcionamiento: Universal
- Vida útil nominal (a 50% de fallos): 36,000 horas
- Flujo luminoso nominal: 55,800 lúmenes
- Mantenimiento del flujo luminoso:
 - 2,000 horas: 99%
 - 20,000 horas: 88%
- Temperatura de color correlacionada (CCT): 2000 K
- Eficacia luminosa nominal: 137 lm/W
- Índice de reproducción cromática (IRC): 25
- Potencia nominal: 400 W
- Tensión nominal: 100 V
- Tiempo máximo de encendido: 10 segundos

- Capacidad de regulación: Sí
- Tiempo de reinicio (máx.): 120 segundos
- Etiqueta de eficiencia energética (EEL): A++
- Contenido de mercurio: 20 mg
- Consumo energético: 440 kWh/1000 horas
- Temperatura máxima de la lámpara: 450°C
- Peso neto: 0.147 kg

Las lámparas de vapor de sodio de 400W destacan por su alta eficacia y su capacidad para proporcionar un flujo luminoso que típicamente se sitúa en torno a los 55,500 lúmenes, aunque este valor puede oscilar entre 50,000 y 61,000 lúmenes debido a variaciones de hasta un 10% entre fabricantes. Con una eficacia lumínica de aproximadamente 139 lm/W, estas lámparas son ideales para aplicaciones de alumbrado público y grandes áreas que requieren una iluminación potente y uniforme. Además, su vida útil de alrededor de 18,000 horas garantiza una operación prolongada antes de necesitar reemplazo. Aunque presentan un índice de reproducción cromática bajo, con un Ra de 23-25, lo que limita su capacidad para representar colores con precisión, su principal ventaja radica en ofrecer una iluminación consistente y eficiente, lo que las convierte en una opción confiable para exteriores. (Btado & Infraestructuras, s. f.)

3.3.4 Características de la luminaria reemplazable LED solar



Figura 21. Datos del transformador en poste

Fuente: (Kit Solar de alumbrado público para luminaria de 180W, s. f.)

- Modelo: KIT SOLARSYL-STREET 180W1.7NPC
- Potencia: 180 W (Atenuable)
- Flujo luminoso inicial: 28,620 lúmenes
- Eficacia luminaria: 159 lm/W
- Temperatura de color: 4000K (blanco neutro)
- Índice de reproducción cromática (IRC): ≥ 70
- Vida útil del LED: 100,000 horas (L70 LM80 TM21)
- Tipo de chip LED: TYF 5050
- Cantidad de chips LED: 120 piezas
- Tipo de lente: Policarbonato (PC) con alta transmitancia
- Tipo de distribución: 120° x 60° (óptica vial)
- Ángulo de inclinación: Ajustable según necesidades de instalación
- Grado de protección: IP66 / IK09
- Dimensiones: No especificadas en el PDF
- Temperatura de operación: -40°C a +45°C
- Acabado: Gris oscuro (estándar para aplicaciones de exteriores)

La elección de una lámpara LED solar para sustituir las lámparas de vapor de sodio de alta presión (HPS) en sistemas de alumbrado público se basa en varias ventajas significativas que hacen de la tecnología LED una opción más eficiente y duradera. En este proceso, ha sido fundamental la aplicación de la norma CIE TC 1-58 de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) (Corróns et al., 2007), que establece los criterios para una correcta evaluación del rendimiento lumínico. Además, para garantizar una adecuada selección de la luminaria LED que cumpla con los requerimientos de nuestro sistema, hemos seguido las recomendaciones para la iluminación de carreteras a cielo abierto proporcionadas por el Ministerio de Fomento (Btado & Infraestructuras, s. f.), lo que asegura un alumbrado eficiente y seguro en vías públicas.

3.3.5 Cálculo de la Sustitución de las luminarias sodio HPS por LED solar

Para ello hemos tomado las siguientes tablas con varios Aspectos Técnicos a analizar para nuestras luminarias:

Potencia (W)	Flujo a 100h (lm)	Eficacia (lm/W)	Pérdidas en equipo (W) (**)	Eficacia conjunto lámpara + equipo (lm/W)	Vida útil (horas)	Índice rendimiento color (Ra)
70	6,600	94	11	81	14,000	23-25
100	10,500	105	13	93	16,000	23-25
150	16,500	110	20	97	18,000	23-25
250	32,500	130	29	116	18,000	23-25
400	55,500	139	33	128	18,000	23-25
600	90,000	150	50	138	18,000	23-25
1000	120,000	120	66	113	14,000	23-25

Tabla 1. Lámparas de vapor de sodio alta presión

Fuente:(Btado & Infraestructuras, s. f.)

Fuente de luz	Relación S/P
Sodio alta presión (amarillo-blanco)	0,65
Halogenuros metálicos (blanco cálido)	1,25
LED (blanco cálido)	1,3
Halogenuros metálicos (blanco frío)	1,8
LED (blanco rico en azul)	2,15

Tabla 2. Relación S/P de cada fuente de luz

Fuente:(Btado & Infraestructuras, s. f.)

Aplicando los factores de corrección dentro de nuestra normativa y el Ministerio de Fomento tenemos las siguientes fórmulas donde nos indican que los lúmenes equivalentes son:

$$\text{Vapor de sodio de (400W)} = lum \times factor = \text{lúmenes equivalentes}$$

$$\text{Vapor de sodio de (400W): } 55800 \times 0,65 = 36270 \text{ lúmenes equivalentes}$$

$$\text{LED (180W)} = lum \times factor = \text{lúmenes equivalentes}$$

$$\text{LED (180W W)} = 28620 \times 1,3 = 37206 \text{ lúmenes equivalentes}$$

Es decir, que la luminaria LED de 180W lm/W, puede sustituir adecuadamente a una de luminaria de vapor de sodio de 400W.

Después de llevar a cabo el estudio y realizar los cálculos correspondientes para nuestro sistema de luminarias LED-solar destinadas al alumbrado público, hemos decidido seleccionar un kit solar que se ajuste de manera óptima a nuestras necesidades.

Para ello vamos a tomar de la siguiente tabla del catálogo general del ecuador de SYLVANIA nuestro kit solar **P38238** cuyo costo es de \$ 2000 donde cuenta con nuestro sistema correspondiente.

Código	Potencia luminaria	Potencia panel solar	Capacidad de batería	Flujo luminoso	Eficacia máx. módulo LED
P38254	35W	165W	150Ah	5.300lm	151lm/W
P38255	60W	2x165W	2x100Ah	9.000lm	150lm/W
P38256	90W	2x165W	2x150Ah	14.490lm	149lm/W
P38233	120W	450W	2x150Ah	18.240lm	152lm/W
P38235	150W	540W	2x150Ah	23.550lm	157lm/W
P38238	180W	2x450W	2x200Ah	28.620lm	159lm/W

Tabla 3. Kit solar Syl-Street Gel

Fuente: (SYLVANIA-Catalogo-General-Ecuador-2024.pdf, s. f.)

3.3.6 Análisis comparativo de las luminarias reemplazables

El estudio enfocado en la modernización del sistema de alumbrado público en la vía Guayllabamba-Quito, se ha considerado la implementación de kits solares como una alternativa eficiente y sostenible para sustituir las luminarias de sodio existentes. Esta elección responde a la necesidad de mejorar la calidad de iluminación en una región caracterizada por su altitud, donde las condiciones climáticas y ambientales pueden afectar el rendimiento de las tecnologías tradicionales.

Las luminarias LED solar ofrecen una eficiencia significativamente mayor en comparación con las lámparas HPS. En términos de lúmenes por vatio (lm/W), una lámpara

LED solar de 180W es capaz de generar aproximadamente 37,206 lúmenes equivalentes, lo que es comparable a los 36,270 lúmenes equivalentes producidos por una lámpara HPS de 400W. Este nivel de rendimiento demuestra que, para proporcionar una cantidad similar de luz, las lámparas LED requieren una menor cantidad de energía, lo que resulta en un ahorro energético considerable, algo crítico en proyectos de iluminación a gran escala, como en carreteras y áreas urbanas.

El uso de luminarias LED solar no solo reduce el consumo energético, sino que también disminuye los costos operativos relacionados con el mantenimiento. Las lámparas de sodio de alta presión tienen una vida útil de entre 14,000 y 18,000 horas, mientras que las lámparas LED solar pueden durar mucho más tiempo. Esto se traduce en menos reemplazos y menores costos de mano de obra para mantenimiento, lo que es una ventaja significativa en proyectos donde la accesibilidad a las luminarias puede ser complicada o costosa. Otro aspecto importante es la calidad de luz ofrecida por las lámparas LED solares. Estas tienen un mejor índice de reproducción cromática (Ra), lo que significa que ofrecen una representación más precisa de los colores en comparación con las lámparas de sodio de alta presión, que tienen un Ra bajo (23-25). Esta mejor calidad de luz contribuye a una mayor seguridad vial y mejor visibilidad en zonas públicas, lo cual es crucial en entornos urbanos y carreteras. Además, las lámparas LED solar tienen una relación S/P más alta, lo que optimiza la visibilidad bajo condiciones de baja iluminación, permitiendo a las autoridades reducir el nivel de iluminación sin comprometer la seguridad visual.

En las lámparas HPS, un porcentaje significativo de la energía consumida se pierde en el equipo (balastos o arrancadores). Por ejemplo, una lámpara de sodio de 400W puede tener pérdidas de hasta 33W en el equipo, lo que reduce su eficiencia total. En contraste, las luminarias LED solar están diseñadas para minimizar las pérdidas energéticas, lo que incrementa su eficacia general. Esto es clave para maximizar el aprovechamiento de la energía suministrada y optimizar el rendimiento del sistema de iluminación.

El uso de kits solares, como el modelo SYLSTREET de 180W con batería de litio, se presenta como una solución idónea para enfrentar estos desafíos. Estos sistemas están diseñados para funcionar de manera autónoma, aprovechando la energía solar, lo que reduce la dependencia de la red eléctrica y garantiza un suministro continuo de luz, incluso en zonas remotas. Además, la tecnología LED utilizada en estos kits ofrece un mayor rendimiento

lumínico y una vida útil superior en comparación con las lámparas de sodio, lo que se traduce en menores costos de mantenimiento y una mejor adaptación a las fluctuaciones de temperatura que son comunes en áreas de gran altitud. (*Kit Solar de alumbrado público para luminaria de 180W*, s. f.)

La transición hacia esta tecnología no solo promete una mejora en la eficiencia energética, sino que también contribuye a una reducción significativa en las emisiones de carbono, alineándose con los objetivos de sostenibilidad de la región. Asimismo, la capacidad de ajuste y programación de los kits solares permite optimizar el uso de la energía en función de las necesidades específicas del entorno, asegurando una iluminación adecuada durante las horas críticas de la noche. Este enfoque innovador tiene el potencial de transformar la infraestructura de alumbrado público en la vía Guayllabamba-Quito, ofreciendo una solución moderna y eco amigable adaptada a las particularidades de las ciudades de altura.

3.3.7 Cálculo de la inversión inicial

La inversión inicial de un proyecto de sistema solar para alumbrado público incluye todos los costos necesarios para llevarlo a cabo desde la fase de planificación hasta la ejecución completa. Esta inversión se desglosa en tres categorías principales:

1. Materiales

Este componente abarca todos los equipos y suministros necesarios para la instalación del sistema solar. Entre los principales materiales que suelen incluirse están:

- **Paneles solares:** Encargados de captar la energía solar y convertirla en electricidad.
- **Baterías:** almacenan la energía generada por los paneles para que el sistema funcione durante la noche o en días nublados.
- **Controlador de carga:** Regula el flujo de electricidad entre los paneles solares y las baterías, evitando sobrecargas.
- **Luminarias LED:** Dispositivos que proporcionarán la iluminación pública eficiente y de bajo consumo.
- **Estructuras de soporte y cableado:** Incluyen los soportes para los paneles y todos los cables eléctricos necesarios para la instalación.

Cada uno de estos materiales tiene un costo específico que se detalla en el presupuesto del proyecto, y su suma conforma una parte significativa de la inversión inicial.

2. Mano de Obra

El costo de la mano de obra representa el valor económico de los trabajos de instalación y montaje del sistema solar. Este costo incluye:

- **Instaladores eléctricos y técnicos especializados:** Que se encargan de conectar los paneles solares, baterías y demás componentes del sistema.
- **Supervisión del proyecto:** Personal encargado de coordinar y garantizar que la instalación cumpla con los estándares de calidad y seguridad.

El valor de la mano de obra varía según la complejidad del proyecto, la cantidad de personal necesario y el tiempo que toma completar la instalación.

3. Administración, Ingeniería y estudios

Estos costos representan todos los gastos relacionados con la planificación y gestión del proyecto, incluyendo:

- **Administración del proyecto:** Costos asociados con la gestión logística, la contratación de personal, el control de los tiempos de entrega y la gestión financiera del proyecto.
- **Ingeniería:** Estudios técnicos para evaluar la viabilidad del proyecto, diseño del sistema solar y cálculos necesarios para dimensionar correctamente los componentes del sistema.
- **Estudios preliminares:** Incluyen estudios de impacto ambiental, análisis de factibilidad, mediciones de radiación solar y estudios de la ubicación para determinar las mejores condiciones de instalación.

Estos costos indirectos son fundamentales para garantizar que el proyecto se ejecute de manera eficiente y con base en estudios técnicos detallados.

A continuación, se muestra la tabla del resumen del presupuesto total del proyecto con nuestro kit solar valorado en \$ 2000:

NOMBRE DE OBRA:	Análisis técnico y económico para la sustitución de luminarias de Sodio HPS por LED Solar en el sistema de alumbrado público en ciudades de altura. Caso de estudio: Tramo de la vía Guayllabamba-Quito.		
UBICACIÓN:	Guayllabamba-Quito		
PROGRAMA:	Energías Renovables	TRÁMITE:	0001
		FECHA:	2024-09-10
1.-PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO:			
1.1 MATERIALES			180 000,00
1.2 MANO DE OBRA			5 130,90
1.3 ADMINISTRACIÓN, INGENIERÍA Y ESTUDIOS			9 256,55
1.4 VARIOS			,00
	SUBTOTAL		194 387,45
1.5 ACOMETIDAS Y MEDIDORES, EQUIPOS Y MATERIALES			,00
1.6 ACOMETIDAS Y MEDIDORES, MANO DE OBRA			,00
NOTA: I.V.A. del 15 % incluido en rubros Materiales y Mano de Obra	TOTAL, USD		194 387,45

Tabla 4. Resumen del presupuesto total proyecto

Fuente: Autor

3.3.8 Análisis del Costo-Beneficio (Económico)

El análisis costo-beneficio es fundamental para evaluar la viabilidad financiera del proyecto de alumbrado público solar. Este análisis se basa en el balance entre los costos iniciales de inversión y los beneficios a largo plazo, como el ahorro energético y la reducción de costos de mantenimiento. El análisis económico del proyecto está estructurado para evaluar la viabilidad financiera y social del sistema de alumbrado público solar. A continuación, se explican los puntos clave de las inversiones, costos e ingresos, basándose en los porcentajes y datos calculados:

1. Materiales y Equipos

El costo de los materiales y equipos constituye una parte significativa de la inversión inicial. Estos costos incluyen los paneles solares, luminarias LED, baterías, controladores de carga, cables, estructuras de montaje y otros componentes necesarios para la instalación. En el análisis, se ha considerado que los materiales y equipos representan aproximadamente 80% del costo total del proyecto, un valor que refleja la importancia de contar con componentes de alta calidad para garantizar la eficiencia y durabilidad del sistema.

2. Mano de Obra

GRUPO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD	EQUIPO	M. OBRA	TRANSPORTE	SUBTOTAL	COSTOS INDIRECTOS (12%)	UTILIDAD (10%)	COSTO TOTAL 2022	COSTO TOTAL 2023	COSTO TOTAL 2024
MONTAJE DE EQUIPOS - LUMINARIAS	0-136	INSTALACIÓN DE LUMINARIAS HASTA 400W	\$ 0,20	\$13,77	\$ 6,66	\$ 20,63	\$ 2,48	\$2,06	\$25,17	\$25,49	\$25,82
MONTAJE DE EQUIPOS - LUMINARIAS	0-141	INSTALACIÓN DE BATERÍA DE LITIO, CON CARRO CANASTA - PANELES SOLARES	\$0,15	\$8,97	\$15,87	\$24,99	\$3,00	\$2,50	\$30,49	\$30,88	\$31,28
									Inflación 2022-2023		1,28%

Tabla 5. Costos de mano de obra 2024

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta la inflación del 1,28% nuestro costo por mano de obra en el año 2024 será de \$ 57,01.

La mano de obra es uno de los costos esenciales dentro del proyecto, ya que incluye todos los servicios técnicos y especializados necesarios para la instalación y montaje del sistema solar de alumbrado. En este análisis, el costo de mano de obra se ha considerado como un porcentaje del costo total de los materiales. Este enfoque permite una estimación proporcional, dado que, a mayor cantidad de materiales o mayor complejidad en el sistema, mayor será el esfuerzo necesario para su correcta instalación; el costo de la mano de obra se ha calculado en \$ 57,01. Este precio refleja el esfuerzo requerido para la instalación, configuración y puesta en marcha del sistema solar. Para un proyecto de este tipo, se trata de un valor estándar que cubre tanto el montaje físico de los paneles solares, luminarias y baterías, como el trabajo eléctrico necesario para conectar y hacer funcionar el sistema completo.

3. Costos Administrativos

Los costos administrativos se calculan como un 5% del costo total de los materiales más la mano de obra. Este porcentaje incluye los gastos relacionados con la gestión y coordinación

del proyecto, tales como la planificación logística, la adquisición de materiales, la contratación de personal y la tramitación de permisos necesarios. Los costos administrativos son fundamentales para asegurar una ejecución eficiente del proyecto, manteniéndolo dentro de los plazos y presupuestos establecidos.

4. Tasa de Descuento Financiero

En el análisis, se ha considerado una tasa de descuento del 12%, un valor razonable para proyectos de infraestructura. La tasa de descuento se utiliza para calcular el valor actual de los flujos de caja futuros, es decir, los ahorros que se generarán por la reducción en el consumo energético y los menores costos de mantenimiento; esta tasa refleja tanto la inflación como el costo de oportunidad del capital, permitiendo que el análisis de los ahorros futuros en energía solar y mantenimiento sea equivalente en términos de valor presente. Esto es importante para evaluar correctamente si los ahorros generados en el futuro compensan la inversión inicial.

5. Potencia de la Luminaria (Ahorro de Energía)

La potencia de las luminarias juega un papel crucial en el ahorro energético del proyecto. En este análisis, se ha considerado un ahorro significativo al sustituir luminarias tradicionales de 400W con luminarias LED solar de menor consumo. Las luminarias LED son más eficientes energéticamente, permitiendo obtener la misma o mayor iluminación con un consumo reducido de energía; el proyecto considera un cambio significativo en las luminarias, sustituyendo las tradicionales de 400W por luminarias LED que consumen mucho menos energía. El ahorro energético es considerable: las luminarias LED pueden consumir entre un 60% y 80% menos electricidad que las luminarias convencionales.

6. Consumo Mensual de Luminaria

El análisis del consumo mensual de las luminarias LED es un factor esencial para calcular los ahorros energéticos. Las luminarias LED seleccionadas tienen un consumo de 100W, lo que representa una reducción significativa frente a las luminarias tradicionales de 400W.

7. Costo 2: Operación y Mantenimiento

El mantenimiento de un sistema de alumbrado solar es considerablemente menor en comparación con sistemas tradicionales. En este análisis, el "Costo 2" corresponde al costo de mantenimiento anual, el cual incluye las revisiones periódicas de las luminarias, paneles solares,

baterías y otros componentes del sistema. Se ha considerado un valor razonable en base a los rubros unitarios 2022-2023. (*Cálculo de Precios Unitarios 2022 2023*, s. f.)

Las luminarias LED y los sistemas solares requieren menos mantenimiento debido a su mayor durabilidad y menor tasa de fallos. Este ahorro en mantenimiento es un factor importante en el análisis costo-beneficio, ya que reduce los gastos operativos a lo largo de la vida útil del proyecto, contribuyendo a una mayor rentabilidad.

8. Precio por kW/h de Alumbrado Público

El precio kWh está fijado en \$0.09 por kWh, que es el costo promedio con subsidio de la electricidad en nuestro país. Este valor se utiliza para calcular el ahorro en la factura eléctrica que se logra al reemplazar la energía convencional por energía solar. Al eliminar o reducir el consumo de electricidad de la red, el sistema solar puede generar un ahorro directo y significativo; al utilizar energía solar, el proyecto evita el uso de electricidad de la red convencional, lo que genera un ahorro directo en las facturas de energía. En el análisis, el costo del kWh se multiplica por la cantidad de energía que el sistema solar evitará consumir de la red. Esta diferencia refleja el beneficio económico obtenido al no depender de fuentes de energía tradicionales, lo cual tiene un impacto positivo en los costos operativos a largo plazo.

9. Inversiones + Costos

El análisis detalla los diversos costos asociados con la implementación, operación, y mantenimiento del sistema. Se desglosan en las siguientes categorías:

- **Costo 1: Inversión Inicial:** Este costo incluye los gastos en materiales y equipos, mano de obra, administración, ingeniería y otros estudios previos necesarios para la instalación del sistema de alumbrado público solar. En el análisis económico, este valor es crucial, ya que representa la inversión inicial que se debe amortizar con los ahorros energéticos y los ingresos futuros generados por el sistema. Este costo se establece como un porcentaje considerable del presupuesto total, generalmente alrededor del 70%, debido a la importancia de los materiales y equipos en la instalación.
- **Costo 2: Reposición y Mantenimiento:** Los sistemas de alumbrado público solar requieren un mantenimiento periódico para asegurar su funcionamiento óptimo. El costo de reposición y mantenimiento incluye gastos por reparaciones

menores, inspecciones rutinarias y reemplazo de componentes críticos, como baterías o luminarias. Aproximadamente el 5% del costo inicial se destina a mantenimiento anual, lo que asegura que el sistema se mantenga en buen estado y no se deteriore rápidamente.

- **Total, de Costos [A+B+C+D]:** El total de costos se obtiene sumando las categorías anteriores (Inversión inicial, reposición y mantenimiento, energía pública y otros costos). Este valor proporciona una visión completa de la inversión total necesaria para el proyecto.

10. Ingresos

El análisis también considera los ingresos generados por el proyecto a lo largo de su vida útil. Estos ingresos provienen de diferentes fuentes, como los ahorros por reducción de consumo de energía y los aportes externos.

- **Reducción de Pérdidas Técnicas:** La implementación de sistemas solares eficientes reduce significativamente las pérdidas técnicas ya que prácticamente no se utilizan en redes, es decir, la energía desperdiciada en la distribución por lo que se ha considerado un 5%. Este ahorro se traduce en una reducción de costos energéticos, que es considerado un ingreso en el análisis.
- **Otros Ingresos: Reducción de Pérdidas Comerciales:** Similar a las pérdidas técnicas, las pérdidas comerciales también se reducen con la implementación de un sistema eficiente por lo que se ha considerado un 2%. La reducción de estas pérdidas genera ingresos adicionales al asegurar que toda la energía generada y utilizada sea contabilizada y facturada correctamente.
- **Ahorro por Energía de Alumbrado Público:** Uno de los mayores beneficios del sistema solar es la reducción del consumo de energía eléctrica tradicional. Este ahorro en energía se considera como un ingreso en el análisis, ya que reduce significativamente las facturas por consumo eléctrico.
- **Total, de Ingresos [H+I+J+K+L+M]:** El total de ingresos incluye todos los beneficios mencionados: venta de energía, tasas de alumbrado, reducción de pérdidas y aportes externos. Este valor total es clave para evaluar si los ingresos son suficientes para cubrir los costos y generar beneficios.

El principal ingreso o beneficio del proyecto proviene del ahorro en consumo energético. Al utilizar energía solar y luminarias LED solar, se reduce drásticamente el consumo de electricidad de la red, lo que genera ahorros sustanciales a largo plazo.

11. Resultados del Análisis

- **Diferencia entre Ingresos y Costos:** Esta diferencia muestra si el proyecto es rentable o no. Si los ingresos superan los costos, el proyecto es económicamente viable y generará beneficios netos. Si los costos son mayores que los ingresos, entonces se necesitará ajustar el diseño o buscar fuentes adicionales de financiamiento. Esta métrica es crucial para evaluar el impacto global del proyecto. Al sumar los beneficios sociales a los ingresos financieros, se obtiene una visión más completa del valor que aporta el proyecto, tanto en términos económicos como sociales.

El análisis económico del proyecto demuestra que, aunque la inversión inicial sea considerable, los ahorros en consumo de energía y los menores costos operativos a largo plazo justifican la implementación del sistema. Los porcentajes aplicados para los costos de materiales, mano de obra y administración aseguran que la inversión esté bien distribuida y que se cubran todas las necesidades del proyecto. Los ingresos, generados principalmente por los ahorros energéticos, permitirán recuperar la inversión en un plazo razonable, haciendo del alumbrado público solar una opción financieramente viable y sostenible.

FACTIBILIDAD					
RESULTADO VAN	CONDICIÓN	RESULTADO B/C	CONDICIÓN	RESULTADO TIR	CONDICIÓN
>0	VIABLE	>1	BENEFICIOSO	>TASA DESCUENTO	VIABLE
<0	NO VIABLE	<1	NO CUBRE COSTOS	< TASA DESCUENTO	NO VIABLE
=0	INDIFERENTE	=1	INDIFERENTE	= TASA DESCUENTO	INDIFERENTE

Tabla 6. Parámetros de Factibilidad del Proyecto

Fuente: Autor

El análisis de la factibilidad económica del proyecto de alumbrado público solar se evalúa a través de varios indicadores financieros clave. Estos indicadores, basados en los porcentajes y cálculos, son fundamentales para determinar si el proyecto es rentable y sostenible a largo plazo. A continuación, se explican los principales elementos considerados

1. Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es uno de los indicadores más importantes para evaluar la viabilidad de una inversión. Representa la diferencia entre los ingresos futuros esperados del proyecto, descontados al valor presente, y la inversión inicial. Si el VAN es positivo, significa que el proyecto generará más ingresos de los que cuesta y, por lo tanto, es rentable.

- **En el análisis del proyecto:** Un VAN negativo indica que los ingresos proyectados no son suficientes para cubrir la inversión inicial y los costos operativos. Esto sugiere que, en su estado actual, el proyecto no es rentable.

2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de descuento que hace que el VAN del proyecto sea igual a cero. En términos simples, es la tasa de rentabilidad esperada del proyecto. Si la TIR es mayor que la tasa de descuento utilizada, el proyecto es económicamente viable.

- **En el proyecto:** Si la TIR calculada es inferior a la tasa de descuento establecida, significa que la inversión no alcanzará la rentabilidad esperada y, por tanto, no será atractiva para los inversionistas.

3. Relación Beneficio/Costo a Valor Presente (B/C)

La Relación Beneficio/Costo (B/C) compara los beneficios económicos proyectados del proyecto con los costos, todo descontado a valor presente. Si el valor de esta relación es superior a 1, significa que los beneficios superan los costos, y el proyecto es rentable. Si es inferior a 1, los costos son mayores que los beneficios.

- **En el análisis del proyecto:** Una relación B/C menor que 1 sugiere que el proyecto no genera suficientes beneficios para cubrir los costos, lo que refuerza la conclusión de que el proyecto no es viable económicamente.

4. Factor de Recuperación de Capital (FRC)

El Factor de Recuperación de Capital (FRC) se utiliza para determinar cuánto se necesita ganar anualmente para recuperar la inversión inicial en un plazo determinado. Es un valor clave para entender en cuánto tiempo el proyecto podrá recuperar su inversión.

- **En el proyecto:** Un FRC elevado indica que el tiempo necesario para recuperar la inversión es largo, lo que puede no ser deseable desde el punto de vista financiero. Si el tiempo de recuperación es excesivo, el proyecto se considera de alto riesgo.

5. Costo Equivalente Anual (CEA)

El Costo Equivalente Anual (CEA) es el valor anualizado de los costos totales del proyecto. Se utiliza para comparar el costo de un proyecto durante toda su vida útil. Es una herramienta útil para evaluar si los ingresos anuales son suficientes para cubrir los costos anuales equivalentes.

- **En el análisis del proyecto:** Un CEA elevado implica que los costos anuales del proyecto son considerables y podrían superar los ingresos generados anualmente. Esto afecta la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

3.3.8.1 Escenarios Propuestos

ESCENARIOS PROPUESTOS	
1	Escenario del valor real del kit solar de \$ 2000.
2	Escenario del valor optimo del kit solar para que este sea viable.
3	Escenario donde se reemplaza solo luminaria de sodio HPS por LED.

Tabla 7. Escenarios Propuestos

Fuente: Autor

3.3.8.2 Resultados de Viabilidad de los Escenarios Propuestos

- **Escenarios 1: Valor real del kit solar \$ 2000.**

En este escenario, se evaluará la factibilidad económica del proyecto considerando un precio de \$2,000 por kit solar, basado en el valor real de mercado en nuestro país, según el catálogo general de SYLVANIA. Se utilizará una luminaria Led-solar de 180W seleccionada como la opción adecuada para reemplazar las lámparas de sodio HPS de 400W según nuestras necesidades de la vía.

A partir de este análisis, se obtienen los siguientes resultados proyectado a 20 años de factibilidad:

FACTIBILIDAD		
VALOR ACTUAL NETO (VAN)	-105.271	NO VIABLE
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	1,09%	NO VIABLE
RELACIÓN BENEFICIO/COSTO A VALOR PRESENTE (B/C)	0,68	NO CUBRE COSTOS
FACTOR DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL (FRC)		-0,88
COSTO EQUIVALENTE ANUAL (CEA)		286.056,66

Tabla 8. Factibilidad del Proyecto Escenario #1

Fuente: Autor

En este escenario, se evaluó la factibilidad económica del proyecto considerando el precio de \$2,000 por cada kit solar, lo que impacta directamente en los resultados financieros y demuestra que el proyecto no es viable. Debido a este alto costo inicial, el proyecto presenta un Valor Actual Neto (VAN) de -105.271, lo que indica que no se generarán ingresos suficientes para cubrir la inversión. La Tasa Interna de Retorno (TIR) es solo del 1,09%, un valor muy por debajo de lo esperado para hacer rentable el proyecto, lo que refuerza aún más su inviabilidad económica. Además, la Relación Beneficio/Costo (B/C) es de 0,68, lo que significa que los beneficios proyectados no alcanzan a cubrir los costos operativos y de mantenimiento, agravando la situación. El Factor de Recuperación de Capital (FRC) también es negativo, en -0,88, lo que muestra que no se recuperará la inversión de forma adecuada. Finalmente, el Costo Equivalente Anual (CEA) de \$286.056,66 refleja una carga financiera anual excesiva, confirmando que el proyecto, con estos parámetros, no puede considerarse económicamente factible.

NOMBRE DEL PROYECTO		Análisis técnico y económico para la sustitución de luminarias de Sodio HPS por LED Solar en el sistema de alumbrado público en ciudades de altura. Caso de estudio: Tramo de la vía Guayllabamba-Quito.						
FECHA DE ELABORACIÓN		10/09/2024						
RUBROS DE INVERSIÓN		DATOS RELEVANTES DEL PROYECTO				36248: KWh/MES_LUM=POTENCIA POR LUMINARIA *2(h)*30(días)		
MATERIALES Y EQUIPOS	180.000,00	NÚMERO DE LUMINARIAS	90	CONSUMO MENSUAL LUMINARIA (KWH/MES)	144,00			
MANO DE OBRA	5.130,90	POTENCIA DE LUMINARIA A. P. (KW)	0,40	COSTO ENERGÍA PÉRDIDAS COMERCIALES (USD/KWH)	0,080			
COSTOS ADMINISTRATIVOS	9.256,55	CONSUMO MENSUAL PROMEDIO KWH/MES	150	COSTO ENERGÍA PÉRDIDAS TÉCNICAS (USD/KWH)	0,060			
PRESUPUESTO TOTAL	194.387,45	VAD ENERGÍA VENDIDA (USD/KWH)	0,0305	COSTO 2 = MANTENIMIENTO (%INVERSION)	9%	36248: Costo 3(anual)= =(KWH/MES_LUM)*L9*2(meses)*(\$/KWH_lum)*L11(# lum_inicial)*H9		
TASA DE DESCUENTO FINANCIERO	12%	VAD DISTRIBUCION (USD/KWH)	0,0844	PRECIO POR KWH ALUMBRADO PÚBLICO (USD/KWH)	0,09			
TASA DE DESCUENTO ECONOMICO	12%	INGRESO POR BENEFICIO SOCIAL (USD/KWH)	140	COSTO 3 = ALUMBRADO PÚBLICO ANUAL (USD)	13.997			
INVERSIONES + COSTOS (USD)			INGRESOS (USD)					
AÑOS	COSTO 1 INVERSION [A]	COSTO 2 REPOSICIÓN Y MANTENIMIENTO [B]	TOTAL COSTOS [A+B]	INGRESO 3 REDUCCIÓN PÉRDIDAS TÉCNICAS [J]	OTROS INGRESOS REDUCCIÓN PÉRDIDAS COMERCIALES [K]	AHORRO POR ENERGÍA A. PÚBLICO [M]	TOTAL INGRESOS [H+I+J+K+L+M]	DIFERENCIA INGRESOS COSTOS
0	194.387,45		194.387,45	9.719,37	3.887,75	0,00	13.607,12	-180.780,32
1		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
2		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
3		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
4		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
5		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
6		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
7		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
8		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
9		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
10		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
11		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
12		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
13		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
14		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
15		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
16		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
17		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
18		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
19		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
20		17.494,87	17.494,87	9.719,37	3.887,75	13.996,80	27.603,92	10.109,05
VAN	194.387	130.677	325.064	82.318	32.927	104.548	219.793	-105.271

Tabla 9. Cálculo de beneficio económico del Escenario #1

Fuente: Autor

- **Escenario 2: Valor óptimo del kit solar para que este sea viable (\$967).**

En este escenario, se busca determinar el precio óptimo de la luminaria LED solar para garantizar la viabilidad del proyecto ya que en el escenario anterior resultó no viable, permitiendo recuperar la inversión inicial en un plazo razonable y generar beneficios económicos sostenibles a largo plazo. Tras realizar las pruebas y análisis, se ha establecido que el valor máximo para que el proyecto sea viable es de \$967 por luminaria.

A partir de este análisis, se obtienen los siguientes resultados proyectado a 20 años de factibilidad:

FACTIBILIDAD		
VALOR ACTUAL NETO (VAN)	97	VIABLE
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	12,02%	VIABLE
RELACIÓN BENEFICIO/COSTO A VALOR PRESENTE (B/C)	1,00	BENEFICIOSO
FACTOR DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL (FRC)		-0,88
COSTO EQUIVALENTE ANUAL (CEA)		142.403,24

Tabla 10. Factibilidad del Proyecto del Escenario #2

Fuente: Autor

En este escenario, se buscó determinar el valor óptimo mínimo del kit solar para que el proyecto sea viable, resultando en un costo de \$967 por unidad. Gracias a este ajuste, el Valor Actual Neto (VAN) es positivo, con un valor de 97, lo que indica que el proyecto generaría ingresos suficientes para cubrir la inversión inicial. La Tasa Interna de Retorno (TIR) del 12,02% supera la tasa de descuento, lo que confirma la viabilidad económica. Además, la Relación Beneficio/Costo (B/C) es de 1,00, lo que demuestra que los beneficios obtenidos igualan los costos, garantizando un equilibrio favorable. Aunque el Factor de Recuperación de Capital (FRC) sigue siendo negativo (-0,88), no afecta la viabilidad general del proyecto. El Costo Equivalente Anual (CEA) se sitúa en \$142.403,24, lo que refleja un costo anual más manejable. Este resultado muestra que, con un precio optimizado de \$967 por kit solar, el proyecto es financieramente sostenible a largo plazo.

NOMBRE DEL PROYECTO		Análisis técnico y económico para la sustitución de luminarias de Sodio HPS por LED Solar en el sistema de alumbrado público en ciudades de altura. Caso de estudio: Tramo de la vía Guayllabamba-Quito.						
FECHA DE ELABORACIÓN		10/09/2024						
RUBROS DE INVERSIÓN		DATOS RELEVANTES DEL PROYECTO				36248: KH/MES_LUM=POTENCIA POR LUMINARIA*2(h)*30(días)		
MATERIALES Y EQUIPOS	87.030,00	NÚMERO DE LUMINARIAS	90	CONSUMO MENSUAL LUMINARIA (KWH/MES)	44,00			
MANO DE OBRA	5.130,90	POTENCIA DE LUMINARIA A.P. (KW)	0,40	COSTO ENERGÍA PÉRDIDAS COMERCIALES (USD/KWH)	0,080	36248: Costo 3(anual)= =(KWH/MES_LUM)*L9*2(meses)*(\$/KWH_Lum)*L11(# lum_inicial)*H9		
COSTOS ADMINISTRATIVOS	4.608,05	CONSUMO MENSUAL PROMEDIO KWH/MES	150	COSTO ENERGÍA PÉRDIDAS TÉCNICAS (USD/KWH)	0,060			
PRESUPUESTO TOTAL	96.768,95	VAD ENERGÍA VENDIDA (USD/KWH)	0,0305	COSTO 2 = MANTENIMIENTO (% INVERSION)	9%			
TASA DE DESCUENTO FINANCIERO	12%	VAD DISTRIBUCION (USD/KWH)	0,0844	PRECIO POR KWH ALUMBRADO PÚBLICO (USD/KWH)	0,09			
TASA DE DESCUENTO ECONOMICO	12%	INGRESO POR BENEFICIO SOCIAL (USD/KWH)	140	COSTO 3 = ALUMBRADO PÚBLICO ANUAL (USD)	13.997			
INVERSIONES + COSTOS (USD)				INGRESOS (USD)				
AÑOS	COSTO 1 INVERSION [A]	COSTO 2 REPOSICIÓN Y MANTENIMIENTO [B]	TOTAL COSTOS [A+B]	INGRESO 3 REDUCCIÓN PÉRDIDAS TÉCNICAS [J]	OTROS INGRESOS REDUCCIÓN PÉRDIDAS COMERCIALES [K]	AHORRO POR ENERGÍA A. PÚBLICO [M]	TOTAL INGRESOS [H+J+K+L+M]	DIFERENCIA INGRESOS COSTOS
0	96.768,95		96.768,95	4.838,45	1.935,38	0,00	6.773,83	-89.995,12
1		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
2		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
3		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
4		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
5		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
6		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
7		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
8		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
9		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
10		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
11		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
12		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
13		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
14		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
15		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
16		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
17		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
18		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
19		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
20		8.709,21	8.709,21	4.838,45	1.935,38	13.996,80	20.770,63	12.061,42
VAN	96.769	65.053	161.822	40.979	16.392	104.548	161.919	97

Tabla 11. Cálculo de beneficio económico del Escenario #2

Fuente: Autor

- **Escenario 3: Reemplazo de la luminaria sodio de 400 HPS por solo la LED de 180W.**

En este escenario, se procederá a realizar un análisis detallado del costo neto de una luminaria LED, la cual se utilizará para sustituir las lámparas de sodio HPS, con el objetivo de

evaluar si esta alternativa hace viable el sistema desde un punto de vista técnico y económico. Tras una investigación exhaustiva del mercado, se ha encontrado que el precio promedio de una luminaria LED es de aproximadamente \$200 por unidad. Este costo será utilizado como base para comparar los resultados obtenidos y determinar si esta opción ofrece un retorno de inversión favorable y una mejora en la eficiencia energética. Los resultados de este análisis proporcionarán información clave sobre la viabilidad del sistema, considerando tanto los ahorros en costos operativos como la vida útil prolongada de las luminarias LED en comparación con las de sodio.

A partir de este análisis, se obtienen los siguientes resultados proyectado a 20 años de factibilidad:

FACTIBILIDAD		
VALOR ACTUAL NETO (VAN)	16,887	VIABLE
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	22,29%	VIABLE
RELACIÓN BENEFICIO/COSTO A VALOR PRESENTE (B/C)	1,42	BENEFICIOSO
FACTOR DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL (FRC)		-0,88
COSTO EQUIVALENTE ANUAL (CEA)		35.740,92

Tabla 12. Factibilidad del Proyecto Escenario #3

Fuente: Autor

Los resultados de la tabla muestran que el proyecto de reemplazo de luminarias de sodio HPS de 400W por luminarias LED de 180W es económicamente viable. El Valor Actual Neto (VAN) de 16,887 indica que el proyecto generará un retorno positivo sobre la inversión inicial. La Tasa Interna de Retorno (TIR) del 22,29% es considerablemente superior a la tasa de descuento, lo que confirma la rentabilidad de la inversión. Además, la Relación Beneficio/Costo (B/C) de 1,42 sugiere que los beneficios superan los costos, lo que lo convierte en un proyecto altamente beneficioso. A pesar de que el Factor de Recuperación de Capital (FRC) es negativo (-0,88), lo que sugiere una ligera demora en la recuperación total de la inversión, el Costo Equivalente Anual (CEA) de \$35.740,92 indica que los costos anuales son bajos y manejables en comparación con los ahorros que se generan, reforzando la viabilidad del proyecto a largo plazo.

NOMBRE DEL PROYECTO		Análisis técnico y económico para la sustitución de luminarias de Sodio HPS por LED Solar en el sistema de alumbrado público en ciudades de altura. Caso de estudio: Tramo de la vía Guayllabamba-Quito.						
FECHA DE ELABORACIÓN		10/09/2024						
RUBROS DE INVERSIÓN		DATOS RELEVANTES DEL PROYECTO				36248: KH/MES_LUM=POTENCIA POR LUMINARIA *2(h)*30(días)		
MATERIALES Y EQUIPOS	18.000,00	NÚMERO DE LUMINARIAS	90	CONSUMO MENSUAL LUMINARIA (KWH/MES)	79,20			
MANO DE OBRA	5.130,90	POTENCIA DE LUMINARIA A. P. (KW)	0,22	COSTO ENERGÍA PÉRDIDAS COMERCIALES (USD/KWH)	0,080			
COSTOS ADMINISTRATIVOS	1.56,55	CONSUMO MENSUAL PROMEDIO KWH/MES	50	COSTO ENERGÍA PÉRDIDAS TÉCNICAS (USD/KWH)	0,060			
PRESUPUESTO TOTAL	24.287,45	VAD ENERGÍA VENDIDA (USD/KWH)	0,0305	COSTO 2 = MANTENIMIENTO (%INVERSION)	9%			
TASA DE DESCUENTO FINANCIERO	2%	VAD DISTRIBUCION (USD/KWH)	0,0844	PRECIO POR KWH ALUMBRADO PÚBLICO (USD/KWH)	0,09		36248: Costo 3(anual)= =(KWH/MES_LUM)*L9*2(meses)*(\$/KWH_lum)*L11(# lum_inicial)*H9	
TASA DE DESCUENTO ECONOMICO	2%	INGRESO POR BENEFICIO SOCIAL (USD/KWH)	140	COSTO 3 = ALUMBRADO PÚBLICO ANUAL (USD)	7.698			
INVERSIONES +COSTOS (USD)				INGRESOS (USD)				
AÑOS	COSTO 1 INVERSION [A]	COSTO 2 REPOSICIÓN Y MANTENIMIENTO [B]	TOTAL COSTOS [A+B]	INGRESO 3 REDUCCIÓN PÉRDIDAS TÉCNICAS [J]	OTROS INGRESOS REDUCCIÓN PÉRDIDAS COMERCIALES [K]	AHORRO POR ENERGÍA A. PÚBLICO [M]	TOTAL INGRESOS [H+I+K+L+M]	DIFERENCIA INGRESOS COSTOS
0	24.287,45		24.287,45	0,00	0,00	0,00	0,00	-24.287,45
1		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
2		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
3		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
4		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
5		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
6		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
7		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
8		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
9		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
10		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
11		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
12		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
13		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
14		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
15		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
16		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
17		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
18		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
19		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
20		2.185,87	2.185,87	0,00	0,00	7.698,24	7.698,24	5.512,37
VAN	24.287	16.327	40.615	0,00	0,00	57.502	57.502	16.887

Tabla 13. Cálculo de beneficio económico del Escenario #3

Fuente: Autor

- **Análisis de los resultados en base a nuestro proyecto:**

El análisis del proyecto con nuestro kit solar propuesto de SYLVANIA demuestra que, aunque la inversión inicial sea considerable, los ahorros en consumo de energía y los menores costos operativos a largo plazo justifican la implementación del sistema. Los porcentajes aplicados para los costos de materiales, mano de obra y administración aseguran que la inversión

esté bien distribuida y que se cubran todas las necesidades del proyecto. Los ingresos, generados principalmente por los ahorros energéticos, permitirán recuperar la inversión en un plazo razonable, haciendo del alumbrado público solar una opción financieramente viable y sostenible.

En la sección de Factibilidad, el análisis muestra que el proyecto de alumbrado público solar no es viable desde el punto de vista económico, ya que presenta una pérdida de -105.271 A pesar de las ventajas técnicas y los posibles beneficios sociales, los costos superan a los ingresos, lo que implica que el proyecto no es rentable.

Factores Clave que Determinan la No Viabilidad:

1. **Pérdida Económica Significativa:** El análisis muestra una pérdida neta, lo que significa que los ingresos generados no son suficientes para cubrir los costos totales del proyecto, incluyendo la inversión inicial, el mantenimiento, y los gastos operativos. Esta diferencia negativa hace que el proyecto no sea rentable en su estado actual.
2. **Costos Elevados:** Los costos de materiales, equipos, reposición, mantenimiento y otros gastos asociados al proyecto son más altos de lo esperado. Incluso con la reducción en el consumo de energía gracias a las luminarias LED y los paneles solares, los ahorros no son suficientes para compensar estos altos costos.
3. **Ingresos Insuficientes:** Aunque se considera la venta de energía generada, la tasa de alumbrado público, y los ahorros por la reducción de pérdidas técnicas y comerciales, estos ingresos no son suficientes para equilibrar los costos. Los aportes de terceros y otros ingresos no logran cerrar la brecha económica.
4. **Limitaciones en los Ahorros Energéticos:** A pesar de los beneficios de la energía solar y la eficiencia de las luminarias LED, el ahorro en consumo energético no es lo suficientemente grande como para generar un impacto financiero significativo. Además, los costos energéticos públicos restantes y los gastos operativos continúan siendo considerables.

3.3.9 Análisis del cálculo del sistema Led Solar

3.3.9.1 Necesidades del lugar

Necesidades del lugar						
Dispositivo	Cantidad	Potencia (Watts) "Pi"	Horas "hi"	Consumo (Wh/día)	Consumo (kWh/día)	Demanda Total Diaria en Amperios-hora (Ah/día)
LED solar 180W	1	180	12	2160,0	2,16	90,00
Consumo Total (kWh/día)					2,16	
2160,00						
MS:	0					
Sistema (VDC):	24					
Q. cons. (Ah/día)	90,00					
N. usuario (Ah/día)	90,00					

Tabla 14. Necesidades del lugar

Fuente: Autor

Una vez realizado nuestro estudio tenemos que nuestra luminaria tipo LED-solar será de 180W para reemplazar nuestro sodio de 400W cuyo tiempo de encendido será de 12 horas diarias, en este apartado se procedió a calcular el consumo en kWh/día determinando las necesidades del lugar.

Como resultados tenemos:

- Energía consumida: $Q = 90 \text{ Ah/día}$
- Consumo Total: $E = 2,16 \text{ kWh/día}$
- Necesidades del sitio = 90 Ah/día

Con este consumo determinamos el voltaje de nuestro sistema de 24V-DC.

3.3.9.2 Pérdidas Totales del Sistema

Kb	Perd. Batería (%)	3%
Ka	Perd. Autodescarga (%/día)	0,3%
Kc	Perd. Conversor (%)	5%
Kr	Perd. Regulador (%)	2%
Kv	Perd. Varias (%)	1%
PD	Profundidad de descarga (%)	50%
D	Días de autonomía	1 (24h)

Tabla 15. Datos para determinar las pérdidas totales del sistema

Fuente: Autor

A continuación, se explica cada uno de los ítems de la tabla:

- **Kb - Pérdida de batería (3%)**: Este valor hace referencia a la pérdida de energía que ocurre durante la operación normal de una batería. En este caso, se estima que la batería pierde un 3% de su capacidad total durante su uso.
- **Ka - Pérdida por autodescarga (0,3%/día)**: La autodescarga es el proceso en el que la batería pierde energía incluso cuando no está en uso. Este porcentaje indica que la batería pierde un 0,3% de su capacidad cada día debido a este fenómeno.
- **Kc - Pérdida en el conversor (5%)**: Se refiere a la eficiencia del conversor de corriente, que transforma la energía de la batería a la forma que necesita el dispositivo. Un 5% de la energía se pierde durante este proceso.
- **Kr - Pérdida en el regulador (2%)**: Indica la pérdida de energía en el regulador de voltaje, un componente que ajusta la tensión eléctrica para proteger el sistema. En este caso, hay una pérdida del 2%.
- **Kv - Pérdidas varias (1%)**: Este valor abarca las pequeñas pérdidas de energía que pueden ocurrir por otras causas, como el cableado o conexiones eléctricas. En este caso, la pérdida es del 1%.
- **PD - Profundidad de descarga (50%)**: Es el porcentaje de la capacidad total de la batería que se puede usar antes de que necesite recargarse. En este caso, solo se utiliza el 50% de la carga para prolongar la vida útil de la batería.

- **D - Días de autonomía (0,5 días o 12 horas):** Este valor indica cuánto tiempo puede suministrar energía la batería sin recargarse. En este caso, tiene una autonomía de 12 horas o medio día.

Para determinar las pérdidas totales del sistema utilizaremos la siguiente fórmula:

$$KT = [1 - (Kb + Kc + Kr + Kv)] \times [1 - \frac{PDKa \times Dauton}{PD}]$$

$$KT = [1 - (3\% + 5\% + 2\% + 1\%)] \times [1 - \frac{50(0,3) \times 0,5}{50}]$$

$$KT(\text{pérdidas totales del sistema}) = 0.88$$

Las pérdidas totales de nuestro sistema serán de **0.88**

3.3.9.3 Carga energética máxima del sistema

Para determinar la carga energética máxima del sistema utilizaremos la siguiente fórmula:

$$Cmax = \left(\frac{Ah}{día}\right) = \frac{Nusuario}{KT}$$

$$Cmax = \left(\frac{Ah}{día}\right) = \frac{90}{0.88}$$

$$Cmax = 101.73Ah/ día$$

Donde demuestra que nuestro sistema tendrá una carga energética máxima de 101.73 Ah/día.

3.3.9.4 Ubicación y radiación solar (Base de datos)

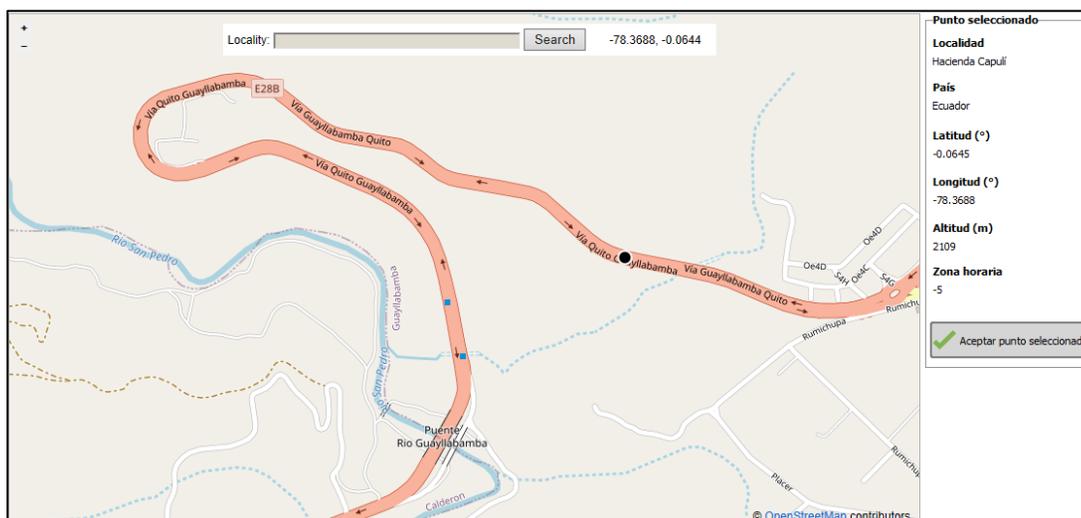


Figura 22. Ubicación de la vía Guayllabamba-Quito

Fuente: (PVsyst)

Sitio Vía Guayllabamba-Quito (Ecuador)					
Fuente de datos	PVGIS TMY 5.2				
	Irradiación horizontal global	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento	Humedad relativa
	kWh/m ² /día	kWh/m ² /día	°C	m/s	%
Enero	5.86	2.04	14.7	0.78	83.1
Febrero	5.13	2.31	15.2	0.73	84.0
Marzo	5.30	2.76	13.6	0.74	89.2
Abril	5.66	2.17	14.5	0.78	83.1
Mayo	5.46	2.08	14.7	0.80	84.6
Junio	4.83	2.01	14.1	0.75	81.9
Julio	5.43	1.89	14.5	0.78	76.3
Agosto	5.73	2.01	14.3	0.75	77.3
Septiembre	6.49	1.79	15.2	0.77	75.9
Octubre	5.76	2.16	14.3	0.80	84.1
Noviembre	5.98	2.14	14.1	0.79	86.8
Diciembre	5.79	1.93	13.8	0.77	85.9
Año	5.62	2.11	14.4	0.8	82.7

Figura 23. Datos de la radiación solar en la vía Guayllabamba-Quito

Fuente: (PVsyst)

Una vez ya recopilada la información del sitio geográfico en PVsyst donde observamos en la figura 20 que el dato más bajo fue en junio con 4.83 KWh/m²/día y que el más alto fue en septiembre con 6.49 KWh/m²/día

Con lo mencionado anteriormente procedemos a calcular la HSP tomando de referencia el dato de la irradiación del mes más desfavorable en un periodo de 5 años de 4,83 KWh/m²/día con la siguiente fórmula:

$$\text{Hora Solar Pico} = \frac{\text{Irradiación Global}}{1000W/m} = HSP$$

$$HSP = \frac{4830W/m^2}{1000W/m} = 4.83 HSP$$

3.3.9.5 Determinación de la energía solar disponible

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$E_{\text{panel}} \frac{Wh}{\text{día}} = HPS \frac{h}{\text{día}} * P_{\text{pico}}(Wp) * N_{\text{panel}}$$

Donde tenemos que:

HSP (día)	4,83	Se determina este valor de acuerdo a la base de datos del software PVsyst del mes más desfavorable en 5 años
PP panel (Wp)	Potencia pico panel	450
N panel (%)	Rendimiento del panel	0,95
E panel (Wh/día)	Energía del panel	2064,825
E panel (Wh/día)		2064,825

Tabla 16. Energía solar disponible

Fuente: Autor

A continuación, se explica los ítems de la tabla:

- **HSP (Horas Sol Pico):** Este valor representa el número de horas equivalentes de máxima irradiación solar que se puede esperar en un día. Se ha calculado utilizando datos del software PVsyst, tomando en cuenta el mes con menor irradiación solar en un periodo de 5 años.

- **PP panel (Potencia pico panel):** Se refiere a la potencia máxima que un panel solar puede generar bajo condiciones ideales de radiación solar. En este caso, el panel tiene una capacidad máxima de 450 vatios pico (Wp).
- **N panel (Rendimiento del panel):** Este es un factor que representa la eficiencia del panel en condiciones reales, teniendo en cuenta que no toda la energía captada se convierte en electricidad útil. Aquí, el panel tiene un rendimiento del 95%.
- **E panel (Energía del panel):** Indica la cantidad de energía eléctrica que el panel puede generar en un día, considerando el número de horas sol pico y la eficiencia del panel. En este caso, el panel produce aproximadamente 2064,825 Wh por día.

3.3.9.6 Dimensionamiento del campo de captación

La energía entregada por el panel se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{panel} \left(\frac{Ah}{día} \right) = \frac{E_{panel} (Wh/día)}{V_{nom \ cc}}$$

E panel (kWh/día)	Energía del panel	2064,83
V nom CC (VDC)	Voltaje nominal del panel	24
Q panel (Ah/día)	Energía del panel	86,03

Tabla 17. Energía entregada por el panel

Fuente: Autor

Para determinar el número de paneles en serie o en paralelo utilizaremos las siguientes fórmulas:

➤ **Módulos en paralelo:**

$$N_{módulos \ paralelo} = \frac{C_{max}}{Q_{panel}}$$

➤ **Módulos en serie:**

$$N_{módulos \ serie} = \frac{V_{nom \ CC}}{V_{nom \ panel}}$$

C max (Ah/día)	Carga energética máxima	101,73	
Q panel (Ah/día)	Energía del panel	86,034375	
N ramas paralelo	# Ramas en paralelo	1,18	2,00
V nom CC (VDC)	Voltaje nominal del sistema	24	
V nominal panel	Voltaje nominal del panel	24	
N ramas serie	# Ramas en serie	1	1
Paneles totales del sistema			2

Tabla 18. Cálculo del Campo de captación

Fuente: Autor

A continuación, se explica los ítems de la tabla:

- **C max (Carga energética máxima) - 101,73 Ah/día:** Este valor representa la cantidad máxima de corriente (medida en amperios-hora) que el sistema necesita proporcionar en un día. Es el consumo máximo de energía que se espera del sistema en un día.
- **Q panel (Energía del panel) - 86,034375 Ah/día:** Es la cantidad de energía que el panel solar puede suministrar en un día, expresada en amperios-hora. Este valor indica cuánta energía puede generar el panel para alimentar el sistema.
- **N ramas paralelo (# Ramas en paralelo) - 1,18 a 2,00:** Indica el número de cadenas o ramas de paneles solares conectados en paralelo en el sistema. Conectar en paralelo permite aumentar la corriente total disponible para el sistema. En este caso, se necesita entre 1,15 y 2 ramas para cumplir con los requerimientos.
- **V nom CC (Voltaje nominal del sistema) - 24 VDC:** Este es el voltaje nominal del sistema de corriente continua (CC). Significa que el sistema está diseñado para operar a un voltaje de 24 voltios de corriente continua.
- **V nominal panel (Voltaje nominal del panel) - 24 V:** Se refiere al voltaje estándar de funcionamiento de cada panel solar. En este caso, el panel solar tiene un voltaje nominal de 24 voltios.
- **N ramas serie (# Ramas en serie) - 1:** Indica el número de cadenas o ramas de paneles solares conectados en serie. La conexión en serie incrementa el voltaje

total del sistema. En este caso, se usa una única rama en serie, lo que mantiene el voltaje nominal en 24 V.

- **Paneles totales del sistema - 2:** Este valor indica la cantidad total de paneles solares que se requieren para el sistema. En este caso, se necesitan 2 paneles solares para generar la energía suficiente que demanda el sistema, considerando las características y capacidades de los paneles.

3.3.9.7 Dimensionado del sistema de acumulación

Para determinar el cálculo de la corriente en Ah del sistema de acumulación vamos a utilizar la siguiente fórmula:

$$C_{\text{sistema acumulación}} = \frac{C_{\text{max}} * D_{\text{aut}}}{PD}$$

C max (Ah/día)	Paneles totales del sistema	101,73
D	Días de autonomía	1
PD (%)	Profundidad de descarga	35 %
C sistema acumulación (Ah)	Sistema acumulación	290,67

Tabla 19. Cálculo del Sistema de acumulación

Fuente: Autor

Para determinar el cálculo del número de baterías en paralelo vamos a utilizar la siguiente fórmula:

$$N_{\text{baterías en paralelo}} = \frac{C_{\text{sistema de acumulación}}}{C_{\text{nominal batería}}}$$

Determinar la capacidad de la batería que usaremos para nuestro sistema en Ah.

C sistema acumulación (Ah)	Sistema acumulación	290,67
C nominal batería (Ah)	Capacidad de la batería en Ah	150
N baterías paralelo	# de baterías en paralelo	1,94

Tabla 20. Cálculo de baterías en paralelo para el sistema de acumulación

Fuente: Autor

Para alcanzar la tensión deseada del sistema hay que determinar el cálculo del número de baterías en serie, entonces vamos a utilizar la siguiente fórmula:

$$N \text{ baterías en serie} = \frac{V \text{ nominal CC}}{V \text{ nominal batería}}$$

V nominal CC (VDC)	Voltaje nominal del sistema	12	
V nominal batería (VDC)	Voltaje nominal de la batería	12	
N baterías en serie	# de baterías en serie	1	
Baterías totales	(#bateria serie) * (# batería paralelo)	1,94	2,00

Tabla 21. Cálculo de baterías en serie y el total para el sistema de acumulación

Fuente: Autor

A continuación, se presenta los resultados del sistema de acumulación:

- **C sistema acumulación (Capacidad del sistema de acumulación) - 99,20 Ah:** Este valor representa la capacidad total del sistema de almacenamiento en amperios-hora. Indica que las baterías pueden almacenar hasta 99.2 Ah de energía, considerando la profundidad de descarga y los días de autonomía. Esto asegura que el sistema pueda cubrir las necesidades energéticas dentro de esos límites.
- **Número de baterías en paralelo:** El valor 0,66 representa la cantidad de baterías conectadas en paralelo. Esta conexión permite aumentar la capacidad total del sistema de almacenamiento sumando las capacidades individuales de cada batería.
- **Número de baterías en serie:** El valor de 2 significa que las baterías están conectadas en serie. La conexión en serie suma los voltajes de las baterías, por lo que dos baterías de 12 V conectadas en serie proporcionan el voltaje total del sistema de 24 V.
- **Voltaje nominal de la batería (VDC):** El voltaje nominal de cada batería es de 12 VDC. Este es el valor estándar que tiene cada batería individualmente.
- **Voltaje nominal de la batería (VDC):** El voltaje nominal del sistema va a ser en este caso 12 V.

- **Baterías totales:** El valor 1,94 indica el número total de baterías necesarias en el sistema, considerando las conexiones en serie y paralelo. El valor aproximado de 2 sugiere que, en la práctica, se necesitarían 2 baterías para cumplir con los requerimientos del sistema.

3.3.9.8 Dimensionado del sistema propuesto

Para finalizar el proceso de dimensionamiento, hemos optado por implementar este sistema propuesto, ya que se fundamenta en los cálculos previos realizados en nuestro Excel utilizando las fórmulas correspondientes, así como en la información sobre radiación solar obtenida a través del software PVsyst, el cual nos permitió identificar las horas pico de sol específicas para la vía Guayllabamba-Quito.

KIT SOLAR PROPUESTO	
Potencia luminaria	180W
Potencia panel solar	2x400W
Capacidad de batería	2x150Ah
Capacidad del regulador	200W-12V-DC o 400W-24V-DC

Tabla 22. Kit solar propuesto

Fuente: Autor

Los cálculos indican que, gracias a las condiciones particulares de radiación solar en esta región de gran altitud, es posible utilizar paneles solares de menor capacidad sin afectar el rendimiento general del sistema. En este caso, se optará por dos paneles de 400W y no por dos de 450W aprovechando la radiación de este sitio. La alta irradiancia en la zona permite que los paneles aprovechen de manera eficiente la energía solar disponible, asegurando que el sistema mantenga su autonomía y funcione de manera óptima. Esto reduce la necesidad de paneles de mayor capacidad, lo que permite optimizar los costos y simplificar el diseño sin sacrificar la eficiencia energética del sistema.

CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados del estudio, se concluye que el proyecto de reemplazo de luminarias HPS por luminarias LED solares en la vía Guayllabamba-Quito no es económicamente viable en las condiciones actuales. Aunque la tecnología LED solar ofrece mejoras en eficiencia y calidad de iluminación, los altos costos de los kits solares en el país impiden obtener beneficios económicos dentro del plazo de 20 años considerado. Sin embargo, en el futuro, con una posible reducción en los costos de estos equipos, el proyecto podría volverse viable desde el punto de vista económico. El principal beneficio de este proyecto radica en su impacto ambiental, más que en su rentabilidad técnica o económica, debido a los elevados costos de los kits solares en el país.
- Los resultados del dimensionamiento propuesto del proyecto confirman que las condiciones de radiación solar en la región permiten optimizar el diseño del sistema de iluminación con paneles solares de menor capacidad sin afectar su desempeño. La decisión de utilizar paneles de 400W en lugar de 450W garantizaría un aprovechamiento eficiente de la energía solar disponible, manteniendo la autonomía del sistema y su funcionamiento óptimo. Esta optimización no solo simplifica el diseño, sino que también reduce costos, sin sacrificar la eficiencia energética, lo que refuerza la viabilidad técnica y económica del proyecto.
- La viabilidad económica del proyecto de sustitución de luminarias HPS por tecnología LED solar depende en gran medida de la optimización de los costos iniciales. Aunque los elevados costos de los kits solares pueden hacer que el proyecto no sea rentable, como se observa en el primer escenario que buscamos la viabilidad del proyecto con el precio real del kit solar de \$ 2000 dólares donde no nos salió rentable, para que sea factible el proyecto el resultado de los cálculos del escenario 2 nos demuestra que el precio óptimo de este kit debe valer \$ 967 como máximo si este precio supera un dólar más ya no es rentable.

- En el análisis del escenario 3 se enfoca la inversión en el reemplazo de luminarias HPS por LED, en donde es posible lograr una inversión sostenible a largo plazo ya que se ha tomado en cuenta el valor de la sustitución solo por LED de \$ 200 donde nos da rentable y de igual manera el precio máximo de rentabilidad de este escenario sería de \$ 506 ya que con \$ 507 ya no nos da rentable nuestro proyecto ; estos sistemas de solo LED por sodio HPS indican que la implementación es más eficiente no solo reduce el consumo energético, sino que también ofrece importantes beneficios económicos, particularmente si se logra disminuir el costo de adquisición e instalación. Esto confirma que la transición a tecnologías de iluminación más modernas y sostenibles puede ser factible económicamente, siempre que se controle adecuadamente la inversión inicial.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda en un futuro realizar estudios adicionales dentro y fuera de la región sobre el impacto que distintas condiciones climáticas podrían tener en el desempeño de las luminarias LED solares, particularmente en áreas de gran altitud o con baja radiación solar.
- Se sugiere investigar tecnologías antirrobo para proteger las luminarias, como sistemas de monitoreo remoto o soluciones de ingeniería para reducir el riesgo de robo, un problema recurrente en zonas con alta vulnerabilidad.
- Sería útil ampliar el estudio para incluir un análisis completo del ciclo de vida de las luminarias LED solares, desde su fabricación hasta su desmantelamiento, evaluando su impacto ambiental total.
- Se recomienda organizar eventos para difundir los resultados del estudio, destacando los beneficios económicos y ambientales de la transición a tecnología LED solar en sistemas de alumbrado público. Estos eventos podrían involucrar a autoridades municipales y representantes de otras regiones interesadas en replicar el modelo.
- Se recomienda organizar eventos para difundir los resultados del estudio, destacando los beneficios económicos y ambientales de la transición a tecnología LED solar en sistemas de alumbrado público. Estos eventos podrían involucrar a autoridades municipales y representantes de otras regiones interesadas en replicar el modelo.
- Se sugiere la implementación de un proyecto piloto en una zona controlada para evaluar los resultados obtenidos en este estudio bajo condiciones reales, permitiendo ajustar los parámetros según los hallazgos y promoviendo su posterior escalabilidad.

REFERENCIAS:

Alcívar-Centeno, J. R., Loor-Chalar, W. R., Vargas-Quiñonez, H. J., Quiñónez-Guagua, E. F., & Gresely-Santi, F. A. (2023). Análisis del sistema de alumbrado público de tipo sodio, mercurio y led con paneles fotovoltaicos. *Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.56183/iberotecs.v3i1.606>

Alumbrado Público LED - Led Solar. (s. f.). Recuperado 27 de agosto de 2024, de <https://www.ledsolar.com.mx/alumbrado-publico-led/>

Arriaxa, C. y. (s. f.). *Luminarias Led vs. Luminarias tradicionales*. Recuperado 16 de agosto de 2024, de <https://cermayarriaxa.com/noticias/iluminacion-led-vs-convencional>

Bacuilima, J. (2024a, julio 8). Energía solar se aprovecha en la dotación de alumbrado público. *Centrosur*. <https://www.centrosur.gob.ec/energia-solar-se-aprovecha-en-la-dotacion-de-alumbrado-publico/>

Bacuilima, J. (2024b, julio 8). Energía solar se aprovecha en la dotación de alumbrado público. *Centrosur*. <https://www.centrosur.gob.ec/energia-solar-se-aprovecha-en-la-dotacion-de-alumbrado-publico/>

Bank, I. A. D. (2023). Banco Interamericano de Desarrollo: Informe de sostenibilidad 2022. *IDB Publications*. <https://doi.org/10.18235/0005333>

Btado, S. O., & Infraestructuras, O. (s. f.). *MINISTERIO DE FOMENTO*.

Caja-de-herramientas-Cambio-Climático-.pdf. (s. f.). Recuperado 27 de agosto de 2024, de <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/09/Caja-de-herramientas-Cambio-Clima%CC%81tico-.pdf>

Cálculo de Precios Unitarios 2022 2023. (s. f.). Dropbox. Recuperado 10 de septiembre de 2024, de <https://www.dropbox.com/scl/fo/y3e6t4ym5hcxvjk1inxyq/AIWT7Apf5rdnGUAfzfXwlaw?dl=0&rlkey=jqzx1xg8wa4xaiygh103lm3ro>

casaeoenergias. (2023, octubre 10). Energía solar y baterías de almacenamiento: Una combinación eficiente. *Especialista en Energías Renovables - casaeoenergias*. <https://casaeoenergias.com/energia-solar-y-baterias-de-almacenamiento-una-combinacion-eficiente/>

Chantera Abarca, P. F., & Tobar Estrella, D. R. (2013). *Estudio de lámparas Led para alumbrado público y diseño de un sistema SCADA con control automático on/off* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4786>

Chiluisa Yáñez, D. P. (2019). *Análisis técnico y económico de la implementación de tecnología led, caso de aplicación Centro Comercial de Mayoristas y Negocios Andinos* [bachelorThesis, Quito, 2019.]. <https://doi.org/10/CD>

Comparación entre la Luz Solar LED y la Luz Convencional | Fabricante de sistemas de iluminación solar. (s. f.). Recuperado 15 de agosto de 2024, de <https://www.solarlightsmanufacturer.com/comparacion-entre-la-luz-solar-led-y-la-luz-convencional/?lang=es>

Controlar de Carga Solar | Enercity S.A. (s. f.). Recuperado 27 de agosto de 2024, de <https://enercitysa.com/blog/controlador-de-carga-solar/>

Corróns, A., Campos, J., & Melgosa, M. (2007). La Comisión Internacional de Iluminación (CIE). *Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. España.* https://www.ceisp.com/fileadmin/doc/CIE_VeryOir.doc

Cruz, M. de la, & Ángel, M. (2016). *Análisis y propuesta de cambio de lámparas convencionales por lámparas Led en la Empresa Pedro Sotto Alba.* [Tesis, Departamento de Eléctrica]. <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/1894>

¿Cuál es la vida útil de una luminaria LED? (s. f.). Recuperado 16 de agosto de 2024, de <https://geniaenergysolutions.com/vida-util-luminaria-led/>

Das, N., Pal, N., & Pradip, S. K. (2015). Economic cost analysis of LED over HPS flood lights for an efficient exterior lighting design using solar PV. *Building and Environment*, 89, 380-392. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.005>

Duman, A. C., & Güler, Ö. (2019). Techno-economic analysis of off-grid photovoltaic LED road lighting systems: A case study for northern, central and southern regions of Turkey. *Building and Environment*, 156, 89-98. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.005>

Figuroa, R., & Alejandra, M. (2023). *El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.* [Trabajo de grado - Maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería]. <https://dspace-escuelaing.metacatalogo.com/handle/001/2845>

Generalidades 6.2. Circuitos de alumbrado público | Likinormas (enelcol.com.co). (s. f.). Recuperado 28 de agosto de 2024, de <https://likinormas.enelcol.com.co/normas/alumbrado-publico/circuitos-alumbrado-publico/generalidades-62-circuitos-de-alumbrado-publico>

George Allwyn, R., Al Abri, R., Malik, A., & Al-Hinai, A. (2021). Economic Analysis of Replacing HPS Lamp with LED Lamp and Cost Estimation to Set Up PV/Battery System for Street Lighting in Oman. *Energies*, 14(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/en14227697>

Guaman, C., & Paul, M. (s. f.). *Diseño de iluminación con luminarias tipo Led basado en el concepto eficiencia energética y confort visual, implementación de estructura para pruebas.*

Guo, V. (2024, abril 8). Farolas HPS vs LED: 5 diferencias más grandes - Casyoo. *A Leading LED Light Manufacturer*. <https://www.casyoo.com/es/hps-vs-led-street-lights-5-differences/>

Huertas Rosero, B. P. (2022). *Análisis técnico-económico de un sistema de generación híbrido para la alimentación del alumbrado público de la Universidad Técnica del Norte* [bachelorThesis]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12384>

Kit Solar de alumbrado público para luminaria de 180W. (s. f.). Recuperado 4 de septiembre de 2024, de <https://sylvania-colombia.com/wp-content/uploads/2023/10/6.-FT-P38238.pdf>

Kulasooriyage, C. S., Namasivayam, S. S., & Udawatta, L. (2015). Analysis on energy efficiency and optimality of LED and photovoltaic based street lighting system. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 48(1). <https://doi.org/10.4038/engineer.v48i1.6844>

MASTER SON-T PIA Plus.pdf. (s. f.). Recuperado 4 de septiembre de 2024, de https://www.lighting.philips.es/api/assets/v1/file/Signify/content/928144809227_EU.es_ES.PROF.FP/928144809227_EU_es_ES_PROF_Product___full_data_sheet.pdf

Mitos y realidades sobre las luminarias con tecnología LED para vialidades. (2014, julio 14). Iluminet revista de iluminación. <https://iluminet.com/luminarias-led-para-vialidades/>

Montufar, M., Pavón, W., Jaramillo, M., & Simani, S. (2022). Control Strategy Applied to Smart Photovoltaic Inverters for Reactive Power Exchange Through Volt-Var Control to Improve Voltage Quality in Electrical Distribution Networks. En Á. Rocha, P. C. López-López, & J. P. Salgado-Guerrero (Eds.), *Communication, Smart Technologies and Innovation for Society* (pp. 357-366). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4126-8_33

Nair, S. (2012, enero 4). *Economic Feasibility of Solar Powered Street light using high powered LED-A Case Study.*

Narváez Muñoz, J. P. (2020). *Análisis técnico, económico para determinar la viabilidad de reemplazar 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)* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18818>

Nations, U. (s. f.). *La promesa de la energía solar: Estrategia energética para reducir las emisiones de carbono en el siglo XXI | Naciones Unidas.* United Nations; United Nations. Recuperado 27 de agosto de 2024, de <https://www.un.org/es/chronicle/article/la-promesa-de-la-energia-solar-estrategia-energetica-para-reducir-las-emisiones-de-carbono-en-el>

Ordóñez, H., & Lener, F. (s. f.). *Estudio y diseño técnico del sistema de alumbrado público en la Av. Joffre Lima de la ciudad de Santa Rosa para reemplazo de luminarias de vapor de sodio por tecnología LED.*

Panameño, R. F. C. (s. f.). *MAESTRO EN INGENIERÍA.*

Paneles solares ¿Cómo funcionan y qué son? (s. f.). Celsia. Recuperado 27 de agosto de 2024, de <https://www.celsia.com/es/blog-celsia/paneles-solares-como-funcionan-y-que-son/>

Parte A - Norma Eeq—Revisio N 07—Final. (s. f.). Pdfcoffee.Com. Recuperado 23 de agosto de 2024, de <https://pdfcoffee.com/parte-a-norma-eeq-revisio-n-07-final-4-pdf-free.html>

Ponce, E. W. I. (s. f.). *Regulación Nro. ARCERNNR-008/23.*

Proveedores y fabricantes de postes de luz de calle de doble brazo personalizados de China—Venta al por mayor directa de fábrica—PHOEBUS. (s. f.). Recuperado 30 de agosto de 2024, de <http://es.phoebuslight.com/lighting-pole/street-light-pole/double-arm-hot-dip-galvanized-light-pole.html>

¿Qué es el índice de reproducción cromática? | Lamparadirecta. (s. f.). Recuperado 16 de agosto de 2024, de <https://www.lamparadirecta.es/blog/indice-de-reproduccion-cromatica>

¿Qué es la eficiencia energética y cómo aporta a la sostenibilidad del hogar? (s. f.). Recuperado 27 de agosto de 2024, de <http://blog.sanpatricio.com.ec/que-es-la-eficiencia-energetica-y-como-aporta-a-la-sostenibilidad-del-hogar>

¿Qué es un Inversor de Corriente y Cómo Funciona? - Iluminación Solar Venezuela - GlobalPay. (2023, junio 8). <https://globalpayiluminacion.com/que-es-un-inversor-de-corriente-y-como-funciona/>

Quintero, M., Quiñonez, K., Caicedo, M., & Bone, V. (2022). Impacto de la iluminación LED en la calidad de la energía de los circuitos de alumbrado público. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3, 286-301. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i4.472>

Repositorio Institucional. (s. f.). Recuperado 15 de agosto de 2024, de <https://repositorio.espe.edu.ec/>

Rodríguez, S. (2020, enero 23). *Iluminación LED solar: Todo lo que necesitas saber - Ecoluz LED.* <https://www.ecoluzled.com/blog/iluminacion-led-solar-como-funcionan-estas-lamparas-autonomas/>

Santana, G. L. G. (s. f.). *Sistema de alumbrado público aplicado mediante energía renovable para la Comuna Masa 2, Golfo de Guayaquil.*

Secue, J., Páez, O., Fonseca, J., & Muela, E. (s. f.). *Análisis de Tecnologías y Normatividad de Iluminación Eficiente en Alumbrado Público.*

Sistema de iluminación led – solar – Morken Group. (s. f.). Recuperado 23 de agosto de 2024, de <https://morkengroup.com/sistema-de-iluminacion-led-solar/>

SotySolar. (2023, diciembre 20). *Inversores solares: ¿qué son?, ¿qué tipos hay?* 😊
SotySolar. <https://sotysolar.es/blog/que-son-los-inversores-fotovoltaicos>.
<https://sotysolar.es/blog/que-son-los-inversores-fotovoltaicos>

SYLVANIA-Catalogo-General-Ecuador-2024.pdf. (s. f.). Recuperado 4 de septiembre de 2024, de <https://sylvania.com.ec/wp-content/uploads/2024/05/SYLVANIA-Catalogo-General-Ecuador-2024.pdf>

Touqeer, J. A., Memon, H. H., & Tunio, S. A. S. and N. A. (2016). Economic and Environmental Analysis of Converting Grid Supplied HPS Lights to solar PV Powered LEDs in Street Lighting at Khairpur Mirs’ Pakistan. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(47), 1-6. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i47/108656>

UPS-GT003223.pdf. (s. f.). Recuperado 2 de agosto de 2024, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20324/4/UPS-GT003223.pdf>

Vargas, C., García, M., Guevara, D., & Ríos, A. (2016). Escenarios de Integración de Sistemas Inteligentes de Iluminación Fotovoltaica en las Autopistas del Ecuador. *Revista Técnica «energía»*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v12.n1.2016.50>

World Energy Outlook 2023 – Analysis. (2023, octubre 24). IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>

ANEXOS

- Anexo #1. Ficha técnica luminaria de sodio 400W
- Anexo #2. Ficha técnica luminaria LED solar 180W
- Anexo #3. Ficha técnica Panel Solar
- Anexo #4. Ficha técnica Controlador de Carga
- Anexo #5. Ficha técnica Batería
- Anexo #6. Ficha técnica luminaria solo led 180W
- Anexo #7. Catálogo de SYLVANIA de los kits solares
- Anexo #8. Catálogo de precios de los kits solares
- Anexo #9. Especificaciones de los postes
- Anexo #10 Normativa para el cambio de luminarias de sodio a led
- Anexo #11. Hoja de datos de los costos por mano de obra para los diferentes cálculos
- Anexo #12. Hoja de datos del análisis económico de los escenarios
- Anexo #13. Resumen del análisis económico de los escenarios propuestos
- Anexo #14. Hoja de datos del dimensionamiento del sistema propuesto