

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 por LED Solar en
el sistema de alumbrado público de ciudades costeras.**

Caso de estudio: Puente de la unidad nacional tramo Guayaquil – Samborondón.

Autor: Bryan Nixon Carriel Neira

Director: Luis Daniel Andagoya Alba

Fecha: Septiembre de 2024

Sangolquí - Ecuador



Autor: Carriel Neira Bryan Nixon

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

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: bryan.carriel@ister.edu.ec



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

(CARRIEL NEIRA BRYAN NIXON)



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 PARA LA SUSTITUCIÓN DE LUMINARIAS DE SODIO POR LED SOLAR EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DE CIUDADES COSTERAS. CASO DE ESTUDIO: PUENTE DE LA UNIDAD NACIONAL TRAMO GUAYAQUIL-SAMBORONDÓN** realizado por **BRYAN NIXON CARRIEL NEIRA** 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 Firmado digitalmente
por LUIS DANIEL
ANDAGOYA ANDAGOYA ALBA
ALBA Fecha: 2024.09.15
22:08:23 -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, 16 de septiembre del 2024

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

Por medio de la presente, yo, **Bryan Nixon Carriel Neira**, 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 por LED solar en el sistema de alumbrado público de ciudades costeras. Caso de estudio: Puente de la Unidad Nacional tramo Guayaquil – Samborondón", **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.



Formado electrónicamente por:
BRYAN NIXON CARRIEL
NEIRA

Atentamente,

Bryan Nixon Carriel Neira

CI: 0925545469



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

MAESTRÍA TECNOLÓGICA: SISTEMAS DE GENERACIÓN SOLAR Y EÓLICA

AUTOR /ES:

Bryan Nixon Carriel Neira

TUTOR:

Ing. Luis Daniel Andagoya Alba

CONTACTO ESTUDIANTE:

0997050632

CORREO ELECTRÓNICO:

bryan.carriel@ister.edu.ec

TEMA:

Análisis técnico y económico para la sustitución de luminarias de Sodio por LED solar en el sistema de alumbrado público de ciudades costeras. Caso de estudio: Puente de la Unidad Nacional tramo Guayaquil – Samborondón.

RESUMEN EN ESPAÑOL:

Esta investigación se centra en el análisis técnico y económico para la sustitución de luminarias de sodio por LED solar en el sistema de alumbrado público de ciudades costeras. Caso de estudio: Puente de la Unidad Nacional, tramo Guayaquil - Samborondón. El objetivo principal es evaluar la viabilidad al reemplazar el sistema de iluminación actualmente instalado en el sitio de estudio por un sistema de iluminación más eficiente, sostenible y resistente al vandalismo, que es un problema recurrente en esta infraestructura. El estudio se justifica por la necesidad de reducir los costos de operación, mejorar la seguridad vial y contribuir a la sostenibilidad ambiental. Se analizarán variables como el costo total del proyecto, las condiciones climáticas, características de los componentes y el retorno de la inversión. Se espera que el uso de un sistema de iluminación LED solar genere ahorros a largo plazo y reduzca la dependencia de la red eléctrica. La investigación se basa en una revisión exhaustiva de estudios previos y en la recopilación de datos sobre las condiciones del sitio y las tecnologías disponibles. Los resultados de este estudio proporcionarán una base sólida para la toma de decisiones informadas al momento de realizar una transición hacia sistemas de iluminación LED solar en otras infraestructuras de similares características en zonas urbanas de la ciudad.



PALABRAS CLAVE:

LED solar
Alumbrado público
Eficiencia
Sostenibilidad
Guayaquil

ABSTRACT:

This research focuses on the technical and economic analysis for the replacement of sodium luminaires with solar LEDs in the public lighting system of coastal cities. Case study: National Unity Bridge, Guayaquil - Samborondón section. The main objective is to evaluate the feasibility of replacing the lighting system currently installed in the study site with a more efficient, sustainable and vandalism resistant lighting system, which is a recurrent problem in this infrastructure. The study is justified by the need to reduce operating costs, improve road safety and contribute to environmental sustainability. Variables such as total project cost, climatic conditions, component characteristics, and return on investment will be analyzed. The use of a solar LED lighting system is expected to generate long-term savings and reduce dependence on the electrical grid. The research is based on a comprehensive review of previous studies and the collection of data on site conditions and available technologies. The results of this study will provide a solid basis for informed decision making when transitioning to solar LED lighting systems in other similar infrastructure in urban areas of the city.

KEY WORDS:

Solar LED
Public lighting
Efficiency
Sustainability
Guayaquil



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 por LED solar en el sistema de alumbrado público de ciudades costeras. Caso de estudio: Puente de la Unidad Nacional tramo Guayaquil – Samborondón”, de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital “DsPace” del estudiante: Bryan Nixon Carriel Neira, con documento de identificación No 0925545469, estudiante de la Maestría Tecnológica En Sistemas De Generación Solar Y Eólica.

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

Atentamente,



Bryan Nixon Carriel Neira
CI: 0925545469

Dedicatoria:

Dios, en primer lugar, debido a su voluntad y propósito, me ha permitido dar un paso hacia delante en mi desarrollo profesional. Porque de él, y por él, y para él, son todas las cosas. A él sea la gloria por los siglos.

A mi madre, ya que ha inculcado en mí una personalidad de superación, siendo ella un ejemplo de perseverancia en mi vida para avanzar a pesar de los obstáculos y dificultades que se presenten en el camino, enseñándome que con la ayuda de Dios todo es posible.

A mi padre, pilar importante en mi juventud, enseñándome que con actitud y decisión se pueden alcanzar metas trazadas en la vida, viendo siempre las oportunidades y dejando a un lado las dificultades.

A mi esposa, ayuda idónea, consejera ideal y complemento perfecto, su apoyo ha sido incondicional y fundamental, estando junto a mí en los momentos buenos y malos, siendo la musa de mis días y mi motivo de superación.

A mis hijos, ya que todo el esfuerzo es por ellos, tratando de ser un ejemplo para el mañana, todos los días al levantarme y al observarlos me motivan a lograr más metas en las cuales pueda celebrar junto a su lado sin desmayar.

Agradecimiento:

Agradezco a Dios por darme las fuerzas y la sabiduría, siendo mi guía en todo lugar, ayudándome todos los días para lograr este objetivo trazado.

Un infinito agradecimiento a mis padres por su total apoyo y sinceros consejos en medio del proceso de estudio y preparación académica.

Gracias a mi esposa Rita, que junto con mis hijos Suri y Neizan siempre estuvieron a mi lado desde el inicio de este caminar lleno de expectativas, creyendo y confiando cada momento en mí.

A los docentes del Universitario Rumiñahui por su trabajo constante y arduo, compartiendo todos sus conocimientos y experiencias, ayudándome en la formación para convertirme en un excelente profesional de este país.

Resumen:

Esta investigación se centra en el análisis técnico y económico para la sustitución de luminarias de sodio por LED solar en el sistema de alumbrado público de ciudades costeras. Caso de estudio: Puente de la Unidad Nacional, tramo Guayaquil - Samborondón. El objetivo principal es evaluar la viabilidad al reemplazar el sistema de iluminación actualmente instalado en el sitio de estudio por un sistema de iluminación más eficiente, sostenible y resistente al vandalismo, que es un problema recurrente en esta infraestructura. El estudio se justifica por la necesidad de reducir los costos de operación, mejorar la seguridad vial y contribuir a la sostenibilidad ambiental. Se analizarán variables como el costo total del proyecto, las condiciones climáticas, características de los componentes y el retorno de la inversión. Se espera que el uso de un sistema de iluminación LED solar genere ahorros a largo plazo y reduzca la dependencia de la red eléctrica. La investigación se basa en una revisión exhaustiva de estudios previos y en la recopilación de datos sobre las condiciones del sitio y las tecnologías disponibles. Los resultados de este estudio proporcionarán una base sólida para la toma de decisiones informadas al momento de realizar una transición hacia sistemas de iluminación LED solar en otras infraestructuras de similares características en zonas urbanas de la ciudad.

Palabras claves:

LED solar

Alumbrado público

Eficiencia

Sostenibilidad

Guayaquil

Abstract:

This research focuses on the technical and economic analysis for the replacement of sodium luminaires with solar LEDs in the public lighting system of coastal cities. Case study: National Unity Bridge, Guayaquil - Samborondón section. The main objective is to evaluate the feasibility of replacing the lighting system currently installed in the study site with a more efficient, sustainable and vandalism resistant lighting system, which is a recurrent problem in this infrastructure. The study is justified by the need to reduce operating costs, improve road safety and contribute to environmental sustainability. Variables such as total project cost, climatic conditions, component characteristics, and return on investment will be analyzed. The use of a solar LED lighting system is expected to generate long-term savings and reduce dependence on the electrical grid. The research is based on a comprehensive review of previous studies and the collection of data on site conditions and available technologies. The results of this study will provide a solid basis for informed decision making when transitioning to solar LED lighting systems in other similar infrastructure in urban areas of the city.

Keywords:

Solar LED

Public lighting

Efficiency

Sustainability

Guayaquil

INDICE GENERAL

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.	II
INTRODUCCIÓN	1
Tema 1	
Planteamiento del Problema	1
Problema científico.....	3
Preguntas científicas o directrices	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos.....	5
Justificación	5
Variables.....	6
Variables Independientes:	6
Variables Dependientes:	6
Variables Intervinientes:.....	6
Idea a defender y/o Hipótesis	7
Viabilidad técnica y económica.....	7
Adaptación a condiciones climáticas:.....	7
CAPÍTULO I	8
1 MARCO TEÓRICO	8
1.1 Contextualización espacio temporal del problema	8
1.2 Revisión de investigaciones previas sobre el objeto de estudio	8
1.3 Cuerpo teórico- conceptual	14
1.3.1 Introducción del Sistema de Alumbrado Público General SAPG	14
1.3.2 Alumbrado público en el Ecuador y sus desafíos.....	15
1.3.3 Luminarias de alumbrado público en el Ecuador	17
1.3.4 Mapa Normativo e Institucionalidad Del Sector Eléctrico Ecuatoriano ...	18
1.3.5 El Alumbrado Público en el Esquema General Eléctrico del Ecuador.....	20

1.3.6	Desventajas de las Luminarias de Sodio	21
1.3.7	Tecnología LED y sus ventajas	21
1.3.8	Energía solar fotovoltaica y sus aplicaciones	22
1.3.9	Sistema de Alumbrado público (SAP) con energía solar	23
1.3.10	Sistemas de Iluminación LED solar: Componentes y Funcionamiento ..	24
CAPÍTULO II.....		25
2	MARCO METODOLÓGICO.....	25
2.1	Enfoque metodológico de la investigación	25
2.1.1	Enfoque metodológico.....	25
2.1.2	Naturaleza del estudio	25
2.1.3	Justificación del enfoque metodológico	26
2.1.4	Plan de trabajo	26
2.2	Población, unidades de estudio y muestra	27
2.2.1	Población	28
2.2.2	Unidades de estudio.....	29
2.2.3	Muestra	29
2.3	Métodos empíricos y técnicas para la recolección de la información	29
2.3.1	Métodos empíricos	30
2.3.2	Técnicas de recolección de información	31
2.3.3	Justificación del uso del método de caso.....	31
2.3.4	Materiales y métodos.....	32
2.4	Formas de procesamiento de la información obtenida de la aplicación de los métodos y técnicas.....	33
CAPÍTULO III		36
3	PROPUESTA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO.....	36
3.1	Fundamentos de la propuesta.....	36
3.2	Presentación de la propuesta.....	37
3.2.1	Componentes del Sistema:.....	37
3.2.2	Estructuración del Sistema	37
3.2.3	Funcionamiento del Sistema.....	37

3.2.4	Recomendaciones Metodológicas para la elección de componentes fotovoltaicos	38
3.3	Ejecución de la propuesta	38
3.3.1	Recopilación de datos sobre del escenario escogido	38
3.3.2	Tipo de luminaria de Sodio instalada en el Puente de la Unidad Nacional	45
3.3.3	Comparativas entre luminarias de Sodio y LED solar	46
3.4	Datos de luminaria de sodio instaladas en el sitio de estudio	47
3.5	Elección de luminaria LED	48
3.6	Elección del Kit de alumbrado público solar	50
3.6.1	Especificaciones técnicas de los componentes del Kit solar	51
3.7	Análisis económico sobre la rentabilidad del proyecto	54
3.7.1	Costo del Kit solar	54
3.7.2	Parámetros a considerar para el costo del kWh en el SAPG	54
3.7.3	Componentes del Costo del SAPG	55
3.7.4	Determinación del costo de la mano de obra por instalación de luminaria y kit solar	58
3.7.5	Análisis de viabilidad económica del proyecto (Escenario 1)	60
3.7.6	Análisis de viabilidad económica del proyecto (Escenario 2)	62
3.7.7	Análisis de viabilidad económica del proyecto (Escenario 3)	65
3.7.8	Análisis de viabilidad económica del proyecto (Escenario 4)	69
3.7.9	Resumen final de los 4 escenarios	72
3.8	Análisis de los componentes LED solar aplicados en la ciudad de Guayaquil	73
3.8.1	Base de datos meteorológicos Meteonorm	73
3.8.2	Base de datos meteorológicos PVGIS	76
3.8.3	Radiación mensual definida	77
3.8.4	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	79
	Conclusiones	88
	Recomendaciones	90
	Referencias	91
	Anexos	98

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Generación acumulada del mes en curso agosto 2024.....	2
Figura 2 Estadística Anual Y Multianual Del Sector Eléctrico Ecuatoriano	16
Figura 3 Detalle de luminarias por distribuidora.....	18
Figura 4 Estructura del Alumbrado Público en Ecuador	20
Figura 5 Distribución de luminarias SAP en Ecuador por Unidades de Negocio	38
Figura 6 Puente de la Unidad Nacional	40
Figura 7 Conexión representativa alumbrado publico.....	41
Figura 8 Medición Puente Unidad Nacional tramo Guayaquil-Samborondón.....	41
Figura 9 Diagrama completo luminarias de alumbrado público Puente Unidad Nacional	42
Figura 10 Diagrama luminarias SAP Puente Unidad Nacional, lado Guayaquil.	43
Figura 11 Diagrama luminarias de alumbrado público Puente Unidad Nacional, lado Samborondón.....	44
Figura 12 Información luminaria sodio del Puente Unidad Nacional	45
Figura 13 Bombillo luminaria de Sodio 250W	48
Figura 14 Conexión del kit fotovoltaico.....	53
Figura 15 Componentes del Costo del SAPG	54
Figura 16 Sitio geográfico en Meteonorm.....	73
Figura 17 Radiación global Meteonorm 2023	74
Figura 18 Radiación global y difusa.....	75
Figura 19 Irradiación global mensual.....	77

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos técnicos.....	39
Tabla 2 Comparación de costos.....	47
Tabla 3 Norma CIE TC 1-58	49
Tabla 4 Relación S/P	50
Tabla 5 Data Sheet luminaria LED 120W	51
Tabla 6 Data Sheet Panel solar.....	52
Tabla 7 Data Sheet batería.....	52
Tabla 8 Data Sheet controlador	53
Tabla 10 Proyección de consumo de energía para el SAPG - año 2024	56
Tabla 11 Proyección de valores por concepto del SAPG 2024.....	57
Tabla 12 Valor del kWh del SAPG	57
Tabla 13 Costos por mano de obra 2024	59
Tabla 14 Análisis de Viabilidad del proyecto (Escenario 1).....	60
Tabla 15 Análisis de los ingresos y costos (Escenario 1).....	61
Tabla 16 Análisis de Viabilidad del proyecto (Escenario 2).....	62
Tabla 17 Análisis de los ingresos y costos (Escenario 2).....	64
Tabla 18 Cotizaciones luminarias LED 120W	66
Tabla 19 Análisis de Viabilidad del proyecto (Escenario 3).....	66
Tabla 20 Análisis de los ingresos y costos (Escenario 3).....	67
Tabla 21 Análisis de Viabilidad del proyecto (Escenario 4).....	69
Tabla 22 Análisis de los ingresos y costos (Escenario 4).....	70
Tabla 23 Irradiación global mensual	76
Tabla 24 Irradiación global 2019-2023	78
Tabla 25 Necesidades del sitio	79
Tabla 26 Pérdidas totales del sistema.....	80
Tabla 27 Carga energética del sistema	81
Tabla 28 Energía solar disponible	82
Tabla 29 Dimensionamiento del campo de captación	82

Tabla 30 Cantidad de paneles en serie o paralelo.....	83
Tabla 31 Dimensionado del sistema de acumulación.....	84
Tabla 32 Dimensionado del sistema de acumulación para baterías en paralelo.....	84
Tabla 33 Dimensionado del sistema de acumulación para baterías en serie	85
Tabla 34 Dimensionado del sistema de regulación	86
Tabla 35 Dimensionado del sistema de regulación en paralelo.....	86
Tabla 36 Dimensionado del sistema de regulación en serie	86

INTRODUCCIÓN

Tema

Análisis técnico y económico para la sustitución de luminarias de Sodio por LED solar en el sistema de alumbrado público de ciudades costeras. Caso de estudio: Puente de la Unidad Nacional tramo Guayaquil – Samborondón.

Planteamiento del Problema

El servicio de alumbrado público o SAP es esencial en todas las ciudades del mundo; tal como lo menciona (COVIMED Solar, 2024), el propósito principal es mejorar la visibilidad y la seguridad de peatones y conductores durante la noche, con el fin de bajar los riesgos por causa de accidentes de tránsito y delitos.

El incremento progresivo del consumo energético en el mundo, junto con la inquietud por el cambio climático y la reducción de los recursos fósiles, ha motivado buscar opciones energéticas más sustentables y eficaces. Según las (United Nations, 2023), "Los combustibles fósiles representan el 80 % de la demanda actual de toda la energía primaria en el ámbito global". Además, el sistema energético es responsable, ya que un aproximado de dos tercios de las emisiones mundiales de dióxido de carbono.

En el Ecuador, según información del (CENACE, 2024), la generación acumulada del mes en curso agosto entre centrales térmicas y de gas natural ronda el 30% del total de generación nacional.

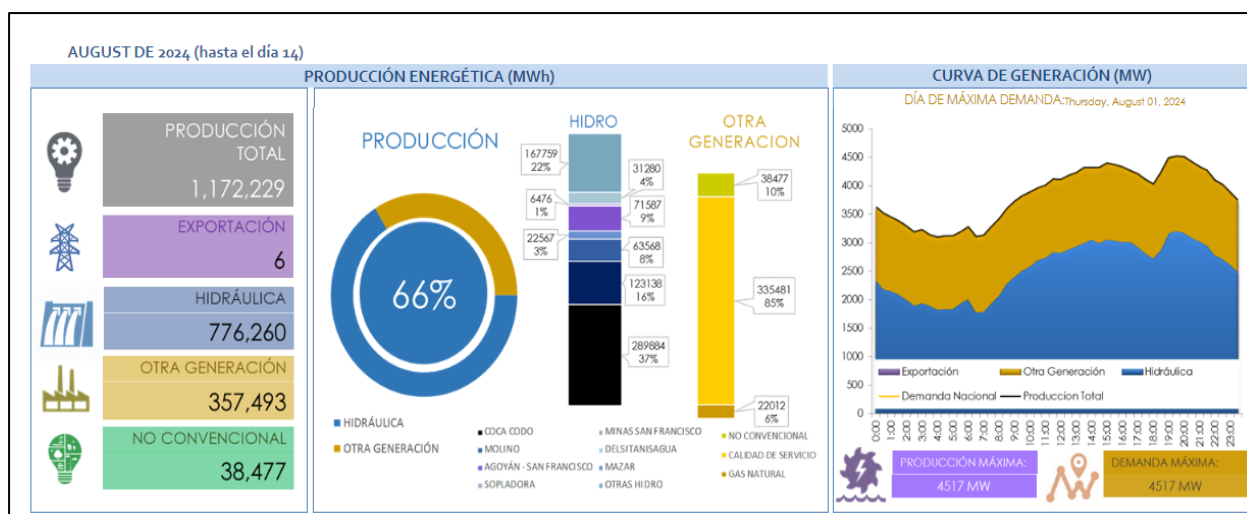


Figura 1: Generación acumulada del mes en curso agosto 2024

Fuente: <http://www.cenace.org.ec/>

La iluminación pública ha experimentado una revolución con la adopción de tecnologías LED, superando las limitaciones de las antiguas incandescentes y de sodio. Si bien los LED brindan una eficiencia energética y una vida útil extendida, su dependencia de la red eléctrica restringe su autonomía. Ante este desafío, las luminarias LED solares se posicionan como una alternativa atractiva.

Las luminarias LED solares destacan por sus ahorros a largo plazo en energía y mantenimiento, gracias a la energía renovable y su menor tasa de reemplazo. Por otro lado, las luminarias de sodio, aunque con un costo inicial más bajo, presentan mayores gastos operativos debido a su menor eficiencia y vida útil. La elección entre ambas tecnologías dependerá de factores como el costo inicial, el retorno de la inversión, las necesidades específicas de cada ubicación y la disponibilidad de luz solar.

En el caso específico del Puente de la Unidad Nacional, que conecta Guayaquil y Samborondón, la problemática, además del consumo energético, ya que se identifican luminarias de 250W tipo sodio, el robo de cableado ha generado interrupciones constantes en el SAP, generando un impacto perjudicial en la imagen de la ciudad. Estas interrupciones recurrentes evidencian la vulnerabilidad de un sistema de iluminación dependiente de la red eléctrica y por ende la necesidad de buscar soluciones más robustas y autónomas.

Además de la inseguridad vial y el costo energético, estas interrupciones provocan un aumento en los costos de mantenimiento, una molestia para los ciudadanos y una pérdida de eficiencia energética. A pesar de que se han implementado soluciones temporales, como la reposición de cables, el problema persiste y no se ha abordado de manera integral y sostenible.

La infraestructura actual del SAP en el puente es altamente vulnerable a actos vandálicos debido a su dependencia de la red eléctrica y la facilidad con la que se pueden sustraer los cables. La falta de tecnologías robustas y autónomas como la energía solar ha limitado las soluciones resilientes a largo plazo. El poco uso de energías sustentables en el SAP dificulta la adopción de soluciones sostenibles en el tiempo.

El uso de un sistema de alumbrado LED abastecido con energía solar puede garantizar una iluminación continua, eficiente y rentable. En su investigación (Parrales Pincay, 2020) menciona: "Se han observado diversos beneficios significativos al emplear lámparas LED con tecnología fotovoltaica. Estos incluyen una eficacia luminosa del 50%, una alta resistencia a golpes y vibraciones del 22%, una vida útil del 14% y una baja generación de calor del 13%".

El estudio se enfocará en el Puente de la Unidad Nacional, concretamente en el tramo que une Guayaquil y Samborondón. Se analizará la factibilidad técnica y económica de reemplazar el sistema de iluminación a corto, mediano y largo plazo. Es relevante destacar que la implementación no está incluida en este proyecto. Finalmente, el estudio en mención se enfocará en analizar la viabilidad de la tecnología LED solar como una opción para la iluminación urbana, excluyendo la evaluación de otras tecnologías.

Problema científico

El robo de cableado en infraestructuras públicas representa una amenaza constante para la seguridad ciudadana y genera pérdidas económicas significativas. El Puente de la Unidad Nacional no es la excepción, sufriendo interrupciones frecuentes en el servicio del SAP debido a estos actos vandálicos. Ante esta problemática, surge la necesidad de implementar soluciones innovadoras y sostenibles que garanticen una iluminación eficiente y segura.

La energía solar fotovoltaica, combinada con la tecnología LED, emerge como una alternativa prometedora para abordar este desafío. La alta eficiencia energética de las LED, mayor

duración de sus componentes y la capacidad de la energía solar de generar electricidad de manera limpia y renovable, ofrecen una solución integral para el SAP. Un sistema de iluminación LED solar no solo reducirá la dependencia de la red eléctrica, si no de los costos de operación y aumentaría la seguridad vial, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

Sin embargo, la aplicación de un sistema de este tipo involucra diversos desafíos técnicos y económicos. Es necesario dimensionar adecuadamente el sistema fotovoltaico para garantizar un suministro de energía constante, seleccionar los componentes óptimos y desarrollar estrategias para proteger el sistema de vandalismo. Además, es fundamental realizar un análisis costo-beneficio para valorar la viabilidad económica de la inversión a 20 años.

El problema científico de este análisis se enfoca en determinar la mejor manera de diseñar un sistema de iluminación LED solar autónomo y resistente al vandalismo para el Puente de la Unidad Nacional. El objetivo es encontrar una solución que garantice una iluminación adecuada y segura, reduzca los valores de operación y mantenimiento, y contribuya a la sostenibilidad energética, al tiempo que mitiga el problema del robo de cableado.

Preguntas científicas o directrices

1. ¿Cuál es el costo total de propiedad (inversión inicial, reposición y mantenimiento) de las luminarias LED solares en relación a las luminarias de Sodio a lo largo de su vida útil, y cuál es el punto de equilibrio en términos de retorno de la inversión?
2. ¿Cómo influyen las condiciones climáticas y geográficas para el uso de la energía fotovoltaica, como la radiación solar y temperatura, en el rendimiento y la eficiencia del sistema de iluminación LED solar propuesto?

Objetivo general

Realizar un análisis técnico y económico con el fin de valorar la viabilidad de reemplazar las luminarias de vapor de sodio por luminarias LED, las cuales serán alimentadas por energía solar, en el sistema de alumbrado público del Puente de la Unidad Nacional en el tramo Guayaquil - Samborondón. Este estudio contemplará la selección de la tecnología LED apropiada, el sistema adecuado de generación y almacenamiento de energía solar, así como la evaluación de los costos de inversión inicial y de mantenimiento.

Objetivos específicos

- Análisis detallado de luminarias tipo sodio instaladas en el sitio de estudio para determinar la cantidad de luminarias LED solar necesarias.
- Estimar la viabilidad solar en la zona, estudiando la disponibilidad y eficiencia de la irradiación solar en la región para determinar la factibilidad de generar la energía necesaria para alimentar el sistema de iluminación LED.
- Evaluar las tecnologías LED y componentes solares disponibles en el mercado para el sistema de alumbrado público del sitio en estudio, considerando criterios de durabilidad, eficiencia y adaptabilidad a las condiciones ambientales del proyecto.

Justificación

La justificación del proyecto radica en la imperante necesidad de evaluar la viabilidad técnica - económica para renovar el sistema de iluminación tipo sodio del Puente de la Unidad Nacional por un sistema de iluminación LED que funcione con energía fotovoltaica. El tema de estudio va enfocado al tramo del puente en sentido Guayaquil - Samborondón; considerando un total de 90 luminarias, se omite de este estudio el otro carril sentido Samborondón - Guayaquil.

Se incluirá en el estudio la comparación de los lúmenes de las lámparas de sodio que se encuentran ya instaladas y así poder elegir una similar o de mejores características, analizando la viabilidad solar en la zona, costos de implementación, ahorros en 20 años y retorno de la inversión.

La ubicación de los postes y los vanos entre ellos ya se encuentra establecida en 30m, parámetro que consta dentro de los rangos normales según la Dirección de Distribución y Estudios Eléctricos (*Memoria Técnica CNEL EP, 2017*). “El promedio de distancia entre postes se ajusta a la metodología implementada por CNEL EP - UNIDAD DE NEGOCIO GUAYAQUIL, la cual consiste en colocar los postes a intervalos de 30 a 60 metros”. Además, la (ARCERNNR, 2020a) menciona que la “Inter distancias de postes de zonas urbanas debe de ser de 30 a 35 metros”, por ende, el tema de estudio se centra totalmente en las luminarias.

Por otro lado, también se observa en las (*ESPECIFICACIONES-TECNICAS CNEL EP, 2017*), donde la Unidad de Negocio Guayaquil mediante la Dirección de Distribución Estudios Eléctricos indica que lo recomendable es instalar los postes de alumbrado público entre 30 y 60 m

de distancia. Es decir, la ubicación de los postes cumple con la disposición y por ende no entre en este estudio.

Variables

Variables Independientes:

- **Tipo de luminaria:** LED solar vs. luminaria convencional (Sodio)
- **Potencia de la luminaria:** Watts
- **Capacidad de la batería:** Amperios-hora
- **Tamaño del panel solar:** Metros cuadrados
- **Tecnología de los paneles solares:** Monocristalino, policristalino, amorfo

Variables Dependientes:

- **Consumo energético:** Kilovatios-hora
- **Costo de operación:** dólares
- **Costo de mantenimiento:** dólares
- **Nivel de iluminación:** Lúmenes
- **Duración de la iluminación:** Horas
- **Capacidad de almacenamiento:** Amperios-hora.
- **Tiempo de descarga:** Horas.
- **Orientación de los paneles:** Ángulo de inclinación y orientación cardinal.

Variables Intervinientes:

- **Ubicación geográfica:** Puente de la Unidad Nacional
- **Clima:** Condiciones climáticas de la zona
- **Calidad de los componentes:** Eficiencia de los paneles solares, baterías y controladores.
- **Políticas públicas:** Regulaciones, normas técnicas.
- **Desastres naturales:** Terremotos, inundaciones.

Idea a defender y/o Hipótesis

Viabilidad técnica y económica

A pesar de los costos iniciales de instalación, se espera que el sistema de iluminación LED solar genere un menor costo total de mantenimiento en comparación con el sistema de iluminación de sodio, gracias a la mayor durabilidad de sus componentes, que reduce la frecuencia de reemplazos y los gastos asociados, así como a la eliminación del consumo de electricidad de la red, lo que se traduce en un ahorro significativo a lo largo del tiempo. Con una vida útil proyectada de 20 años, se anticipa que el ahorro acumulado en costos de mantenimiento y energía superará los costos iniciales, resultando en un retorno de inversión favorable y consolidando al sistema LED solar como una opción sostenible y económicamente viable.

Adaptación a condiciones climáticas:

Se espera que el sistema mantenga un rendimiento constante a lo largo del año, gracias a la calibración y dimensionamiento precisos de los parámetros y componentes fotovoltaicos, adaptados a las variaciones estacionales de la radiación solar, utilizando como referencia datos de fuentes confiables como Meteonorm, PVGIS y la NASA, lo que permitirá maximizar la eficiencia energética y garantizar un suministro estable de electricidad en diversas condiciones climáticas.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Contextualización espacio temporal del problema

El enfoque de la investigación consiste en analizar la factibilidad de sustituir las luminarias de sodio ubicadas en el Puente de la Unidad Nacional por modernas luminarias LED que funcionan con energía solar. El principal propósito es mejorar la eficiencia energética, disminuir gastos de mantenimiento y a su vez gastos por robos de materiales eléctricos que perjudican este sector de manera constante, aumentando así la seguridad en esta relevante vía que conecta Guayaquil con Samborondón.

El problema actual del puente se centra en el consumo energético del alumbrado tipo sodio, la frecuencia de robos de cableado y las interrupciones del servicio del SAP. Estas circunstancias tienen consecuencias adversas en la seguridad de las vías y provocan un incremento en los gastos de funcionamiento.

La energía solar asegura un suministro independiente de electricidad, lo que disminuye la dependencia de la red eléctrica y reduce la vulnerabilidad ante posibles robos. La propuesta de emplear tecnología solar LED plantea una alternativa más sostenible y eficaz. Las luminarias LED presentan un bajo consumo energético y mayor durabilidad con respecto a las luminarias de sodio.

En el estudio se analizarán diferentes aspectos técnicos y económicos, tales como la determinación de la cantidad de luminarias requeridas, la evaluación de la capacidad de producción de energía solar en la región, el análisis de los gastos de capital y la estimación de los beneficios financieros a largo plazo. Además, se examinará el impacto que tendría la eventual puesta en marcha de este sistema de iluminación urbana.

1.2 Revisión de investigaciones previas sobre el objeto de estudio

En los años recientes se han reportado inconvenientes con el SAP de manera recurrente, esto por motivos del robo de cables y la consecuente interrupción del servicio de iluminación en el Puente de la Unidad Nacional. Estos eventos afectan la seguridad vial y la calidad de visibilidad de los usuarios que transitan con sus vehículos en esta ruta. El 15 de junio de 2022 (Pinchao &

Silva, 2022) del medio de comunicación El Comercio, donde menciona a la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL), informando en un comunicado que se arreglará la iluminación del puente de la Unidad Nacional. Esto ocurrió porque, según CNEL, personas desconocidas entraron en la caseta de control, se llevaron la puerta y robaron los cables que suministran energía al puente. El problema ocurrió desde la madrugada del miércoles 15 de junio de 2022". El 20 de septiembre de 2022 (Ochoa, 2022) de CNEL EP informa que 440 luminarias del Puente de la Unidad Nacional se encuentran apagadas, luego de que el lunes 19 de septiembre, en horas de la noche, sujetos desconocidos ingresaran a la caseta de control y se sustrajeran, 200 metros de cable concéntrico, el cajetín central y demás herramientas.

En los años recientes se han reportado inconvenientes con el SAP de manera recurrente, esto por motivos del robo de cables y la consecuente interrupción del servicio de iluminación en el Puente de la Unidad Nacional. Estos eventos afectan la seguridad vial y la calidad de visibilidad de los usuarios que transitan con sus vehículos en esta ruta. El 15 de junio de 2022 (Pinchao & Silva, 2022), del medio de comunicación El Comercio, donde menciona a la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL), informando en un comunicado que se arreglará la iluminación del puente de la Unidad Nacional. Esto ocurrió porque, según CNEL, personas desconocidas entraron en la caseta de control, se llevaron la puerta y robaron los cables que suministran energía al puente. El problema ocurrió desde la madrugada del miércoles 15 de junio de 2022". El 20 de septiembre de 2022 (Ochoa, 2022), de CNEL EP informa que 440 luminarias del Puente de la Unidad Nacional se encuentran apagadas, luego de que el lunes 19 de septiembre, en horas de la noche, sujetos desconocidos ingresaran a la caseta de control y se sustrajeran 200 metros de cable concéntrico, el cajetín central y demás herramientas.

Al siguiente año, continúan los problemas, como se menciona el 2 de febrero (CNEL EP, 2023), donde la Unidad de Negocio Guayas - Los Ríos realizó labores de reconexión de más de 120 luminarias que se encuentran apagadas en el Puente de La Unidad Nacional, ubicado en el tramo Guayaquil - Samborondón. Este problema surgió después de que, en la noche del miércoles 1 de febrero, individuos no identificados intentaron robar el cable concéntrico". Así mismo, el 22 de mayo (El Universo, 2023) hace noticia del robo de un cable de cobre de 15 kW y un transformador que suministra energía a la caseta de control del puente de la Unidad Nacional provocó una interrupción en el funcionamiento habitual de 440 luminarias durante el pasado fin

de semana. Para finalizar el 1 de agosto (Ecuavisa, 2023) comunica que, para llevar a cabo las reparaciones en el puente de la Unidad Nacional, se necesitan 300 metros de redes, 21 disyuntores y otros elementos eléctricos. El 30 de julio pasado, la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP) informó que individuos ingresaron ilegalmente a la caseta de operaciones del Puente de la Unidad Nacional y sustrajeron cables. El robo de cables en el sistema de SAP ha obligado a buscar nuevas alternativas que ayuden a garantizar este servicio.

En la publicación de (icisneros, 2017), en el cual redacta que un sistema desarrollado por investigadores de la Universidad de La Rioja y técnicos del Ayuntamiento de Logroño con el propósito de prevenir el robo de cableado en sistemas de iluminación exterior. Han presentado en la Oficina Española de Patentes y Marcas un dispositivo antirrobo, el cual se destaca por su mayor simplicidad y seguridad en comparación con los dispositivos existentes hasta la fecha. Además, en dicha publicación mencionan que el robo de cableado de cobre en sistemas de iluminación exterior representa un desafío significativo, especialmente para entidades gubernamentales como los ayuntamientos, encargadas de áreas extensas con iluminación exterior, frecuentemente ubicadas en zonas periféricas a los centros urbanos.

Numerosos estudios han demostrado los beneficios técnico-económicos de esta tecnología, así como los desafíos asociados a su uso y mantenimiento. La iluminación LED solar en entornos urbanos ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, impulsada por la creciente demanda de soluciones energéticas sostenibles y eficientes.

La iluminación pública es un componente esencial en la infraestructura urbana, ya que no solo mejora la visibilidad y la seguridad, sino que también influye en la calidad de vida de los ciudadanos. En el contexto de Guayaquil y Samborondón, la implementación de sistemas de alumbrado más eficientes es crucial para garantizar la sostenibilidad y reducir el consumo energético. La transición de luminarias de sodio a LED alimentadas por energía solar se presenta como una alternativa viable que puede ofrecer múltiples beneficios tanto económicos como ambientales. Según la Agencia Internacional de Energía (World Energy – Analysis IEA, 2021), la iluminación representa aproximadamente el 19% del consumo total de electricidad a nivel mundial, lo que subraya la importancia de buscar soluciones más eficientes. Las luminarias LED ofrecen una serie de ventajas en comparación con las tradicionales de sodio. En primer lugar, la

eficiencia energética de los LED es significativamente mayor, lo que se traduce en un menor consumo de energía y, por ende, en una reducción de costos operativos. Un estudio de la Universidad Técnica del Norte enfocado al análisis de factibilidad técnico-económica para el cambio de luminarias exteriores en el campus de la misma institución utilizando tecnología solar fotovoltaica donde (Santander Ocles, 2020) menciona que las luminarias LED pueden consumir hasta un 75% menos energía que las de sodio. Además, los LED tienen una vida útil más prolongada, que puede llegar hasta 50,000 horas, lo que reduce la frecuencia de reemplazo y los costos de mantenimiento. La iluminación pública convencional, especialmente la que utiliza lámparas de Sodio, contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero. La transición hacia luminarias LED solares no solo reduce el consumo energético, sino que también minimiza la huella de carbono. Según un informe de la ONU sobre el cambio climático (Nations United, 2022), la adopción de tecnologías de energía renovable en sectores como la iluminación pública puede contribuir significativamente a los objetivos de sostenibilidad global. Este cambio no solo beneficia al medio ambiente, sino que también promueve una imagen positiva de la ciudad ante sus habitantes y visitantes.

El análisis económico es fundamental para evaluar la viabilidad de la sustitución de luminarias. Aunque la inversión inicial para la instalación de un sistema de iluminación LED solar puede ser alta, los ahorros a largo plazo pueden justificar esta inversión. Un estudio realizado por (Solano Farias, 2022), con una muestra de 384 ciudadanos, reveló que un alto porcentaje de la población encuestada mostró aceptación hacia las luminarias LED solares. En este contexto, un informe de revista por parte de (Bank World, 2022) estima que el costo promedio de una farola solar variará entre \$300 y \$500, lo cual representa un incremento significativo en comparación con los \$100 a \$200 de los sistemas de iluminación convencionales. Por otro lado, un informe del año 2021 de (*Energía renovable y electricidad-Asociación Nuclear Mundial*, s. f.) redacta que los lugares con una insolación diaria inferior a cuatro horas pico pueden necesitar recursos energéticos suplementarios o sistemas de almacenamiento de energía más amplios para asegurar un funcionamiento ininterrumpido. Las baterías desempeñan un papel crucial en la acumulación de energía solar para su utilización durante la noche o en condiciones de iluminación reducida. No obstante, las baterías generalmente poseen una duración de 5 años y necesitan ser sustituidas regularmente, lo cual aumenta los gastos de mantenimiento a lo largo de la vida útil del sistema. Según la publicación de (Crail, 2022) en la revista Forbes Home, se ha observado un aumento

significativo en la inversión extranjera directa en América Latina en los últimos años. Los costos de instalación de un sistema de iluminación LED solar incluyen la compra de las luminarias, los paneles solares, las baterías y el sistema de control. Según un análisis de (Flores Fueres, 2016) de la Universidad Politécnica Salesiana, manifiesta que el costo promedio de instalación de un sistema de alumbrado público solar en Ecuador oscila entre \$1,400 y \$2,500 por luminaria. Sin embargo, el mantenimiento de estos sistemas es relativamente bajo, ya que las luminarias LED requieren menos reemplazos y los sistemas solares tienen una vida útil prolongada, lo que reduce los costos operativos a largo plazo. Por otro lado, concluye que las luminarias LED se destacan por su durabilidad superior en comparación con otros tipos de luminarias disponibles en el mercado. Su vida útil supera las 50000 horas, lo que las posiciona como una opción más longeva. Además, ofrecen una luminancia superior a la de otros tipos de luminarias, lo que se traduce en una mejor reproducción de colores y una mayor calidad visual para los usuarios. La comparación de costos entre luminarias de sodio y LED solares es esencial para determinar la viabilidad del proyecto. Un estudio realizado por (De León Osorio, 2023) en el Municipio de Mixco del Departamento de Guatemala muestra que, aunque el costo inicial de las luminarias LED solares es más alto, los costos operativos a lo largo de su vida útil son significativamente menores. Este análisis es crucial para la toma de decisiones informadas sobre la sustitución de luminarias. También es importante mencionar que los costos de la tecnología fotovoltaica van disminuyendo con el avance de los años, tal como se menciona en el estudio de potencial solar fotovoltaico del Ecuador publicado por CELEC EP elaborado por (Azín et al., 2024), donde indica que el Ecuador ha sido objeto de un estudio donde se ha validado el considerable potencial de energía solar fotovoltaica en el país. Se ha observado una notable reducción en los costos de esta forma de energía, en particular en los módulos solares, que representan la mayor parte de la inversión. El avance tecnológico actual contribuye a mejorar la eficiencia energética de los sistemas fotovoltaicos, lo que resulta en una reducción de los costos de generación de electricidad. Además, la energía solar fotovoltaica ofrece la flexibilidad de una expansión gradual y adaptable en función de las posibilidades, necesidades y restricciones específicas. Esta versatilidad las posiciona como una opción atractiva para la inversión y el crecimiento ágil de los sistemas eléctricos del país.

Según un estudio de (Malpartida & Fuentes, 2019) la utilización de energía solar fotovoltaica para alimentar la iluminación pública es una alternativa económicamente atractiva y técnicamente factible. Además, añade que es importante destacar esta fuente de energía limpia y

que contribuye positivamente al cuidado del medio ambiente. Al considerar la instalación de este tipo de iluminación, es fundamental que se analice detenidamente cuál de todas las luminarias solares disponibles en el mercado se ajusta mejor a las necesidades específicas. En este estudio fueron registrados casos en los que las personas experimentan una gran decepción con respecto a la eficacia de la iluminación; al realizar un estudio sobre este caso, se constató que la selección inadecuada de las luminarias que estaban instaladas fue el factor determinante para este malestar. La implementación de un SAP solar requiere un análisis técnico detallado. Esto incluye la selección adecuada de los paneles solares, las baterías y los controladores de carga. Un estudio de (Ortiz, 2023) destaca la importancia de dimensionar correctamente el sistema para asegurar un rendimiento óptimo. La ubicación geográfica y las condiciones climáticas son factores críticos que deben ser considerados para maximizar la eficiencia del sistema; además, un diseño óptimo de la instalación, considerando factores como la orientación de los paneles y la sombra proyectada, es fundamental para aprovechar al máximo la energía solar disponible. La disponibilidad de radiación solar es un factor determinante en la viabilidad de un sistema de iluminación solar. La región de Guayaquil y Samborondón recibe una cantidad significativa de radiación solar durante el año, lo que la convierte en un lugar ideal para la implementación de sistemas solares. Según datos del (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI, 2023), la radiación solar promedio en esta área es de aproximadamente 5 kWh/m²/día, lo que respalda la factibilidad de un SAP solar. La base de datos de (*Solar Energy Calculator and Mapping Tool - PVGIS*, s. f.) coincide con los emitidos por el INAMHI. Cabe resaltar que PVGIS es una herramienta gratuita desarrollada por la Comisión Europea que proporciona información sobre la irradiación solar en cualquier lugar del mundo. Utiliza diferentes modelos para calcular la irradiación solar global (Gi), directa (Gbi) y difusa (Ddi) en planos inclinados. PVGIS-NSRBD ofrece datos hasta 2015, tomando un día de cada mes para calcular la irradiancia promedio anual. Los datos proporcionados de la ciudad de Guayaquil muestran la irradiación global en kWh/m²/día, donde los meses de noviembre y diciembre alcanzan un promedio de 5 kWh/m²/día y valores mínimos en los meses de junio y julio (alrededor de 3.8 kWh/m²/día). Estas variaciones se explican por factores como la posición del sol en el cielo, la duración del día y la nubosidad.

El tema de investigación sobre el análisis de factibilidad técnica y económica para el uso de luminarias LED solares en el puente de la Unidad Nacional, tramo Guayaquil-Samborondón, tiene como propuesta principal solucionar el problema de robos de cableado en el Puente de la

Unidad Nacional. Esto ayudaría a garantizar una iluminación adecuada y constante en todo el puente. Se reducirá significativamente el riesgo de accidentes de tránsito, especialmente durante las horas de la noche. Por otro lado, ayudaría a la reducción de costos a largo plazo, ya que la inversión en un sistema de iluminación LED solar se verá compensada por los ahorros en el consumo de energía y los costos de mantenimiento, conforme lo manifiesta (Parrales Pincay, 2020). La energía solar es gratuita y renovable, lo que reduce la dependencia de fuentes de energía convencionales y los costos asociados a ellas. La utilización de energía solar conlleva la disminución de la huella de carbono y aporta a la mitigación del cambio climático. Por otra parte, los materiales empleados en las luminarias LED son más respetuosos con el medio ambiente en comparación con las tecnologías convencionales. Los sistemas de iluminación LED solar son más resistentes a las inclemencias del tiempo y a los actos vandálicos, lo que garantiza una mayor durabilidad y reduce la necesidad de reparaciones frecuentes, además (Ricardo Borbor, 2019a) indica de acuerdo a las investigaciones realizadas por la empresa Soltsoi, se han identificado los siguientes beneficios de las luminarias LED: El panel LED tiene un consumo de electricidad reducido, el cual oscila entre el 70% y el 90%, según la comparación con la iluminación correspondiente. La durabilidad del producto es notable, superando las 50.000 horas de funcionamiento, lo que equivale a una longevidad de 10 años. Esta solución posicionará a Guayaquil y Samborondón como ciudades comprometidas con la innovación y la sostenibilidad, sirviendo como ejemplo para otras ciudades a nivel nacional. La propuesta del análisis presentado sobre las luminarias LED solares en el Puente de la Unidad Nacional responde a una serie de desafíos y oportunidades. Por un lado, se busca resolver un problema concreto y recurrente, como es el robo de cables. Además, se pretende aprovechar las ventajas de las tecnologías LED y solar para construir un sistema de iluminación más eficiente, sostenible y resistente.

1.3 Cuerpo teórico- conceptual

1.3.1 Introducción del Sistema de Alumbrado Público General SAPG

El sistema de alumbrado público general o SAPG es un servicio fundamental que garantiza la seguridad y el bienestar de los ciudadanos al iluminar espacios públicos como calles, plazas y parques. Su evolución histórica ha sido marcada por la constante búsqueda de tecnologías más eficientes y sostenibles. Actualmente, las luminarias LED han revolucionado el sector, ofreciendo

una mayor eficiencia energética y una vida útil más prolongada en comparación con las tecnologías tradicionales. (García-Tenorio et al., 2022)

La iluminación pública es indispensable para los procesos industriales, sociales y económicos de cualquier lugar, además de ser un indicador de desarrollo social. Es principalmente una necesidad humana, ya que a un potencial agresor le incomoda hacer frente a la oscuridad, así como su habilidad visual se encuentra limitada ante la falta de iluminación. Los seres humanos perciben su ambiente de manera diferente de acuerdo a la cantidad de luz existente en un área determinada. (Barragán Murcia et al., 2022)

1.3.2 Alumbrado público en el Ecuador y sus desafíos

El SAP ha sido históricamente un pilar importante en el desarrollo urbano del Ecuador; por lo tanto (Alcívar-Centeno, 2023) menciona: "El alumbrado público es un elemento fundamental de la infraestructura urbana que ha sido sujeto a continuas innovaciones tecnológicas con el fin de aumentar su eficacia y disminuir los gastos energéticos y de mantenimiento". Más allá de su función primordial de iluminar calles y espacios públicos, este servicio ha desempeñado un papel crucial en la seguridad ciudadana, la movilidad, el desarrollo de la economía y la forma de vida de todos sus habitantes. Durante décadas, las lámparas de vapor de sodio dominaron el panorama del SAP ecuatoriano. Sin embargo, estas tecnologías presentaban ciertas limitaciones en cuanto a su elevado consumo energético.

Según lo detallado por la (ARCERNNR, 2020b) en su publicación titulada "Estadística Anual Y Multianual Del Sector Eléctrico Ecuatoriano", se expone un análisis sobre la producción e importación de energía eléctrica a nivel nacional durante el período 2011-2020. En dicho análisis se presenta el consumo en gigavatios-hora (GWh) de la energía utilizada en el Servicio Público de Energía Eléctrica (SPEE) y el Servicio de Alumbrado Público General (SAPG).

CONCEPTO \ AÑO	Unidad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Energía Generada Bruta ⁽¹⁾	GWh	20.544,14	22.847,96	23.260,33	24.307,21	25.950,19	27.313,86	28.032,91	29.243,59	32.283,96	31.248,00
Energía Importada desde Colombia	GWh	1.294,59	236,03	662,34	824,02	457,24	43,92	18,52	106,07	5,83	250,79
Energía Importada desde Perú	GWh	-	2,17	-	12,72	54,57	37,74	-	-	-	-
Energía Bruta Total	GWh	21.838,73	23.086,16	23.922,67	25.143,95	26.462,01	27.395,52	28.051,43	29.349,66	32.289,79	31.498,80
Energía No Disponible para Servicio Público ⁽²⁾	GWh	2.925,93	3.307,45	3.347,09	3.444,47	3.606,85	4.140,90	4.544,87	4.906,68	5.335,86	5.326,97
Energía Generada e Importada para Servicio Público ⁽³⁾	GWh	18.912,80	19.778,70	20.575,58	21.699,48	22.855,16	23.254,62	23.506,56	24.442,98	26.953,92	26.171,82

Notas: (1) La energía generada bruta es producida por todo el parque generador del país (Incorporado y No Incorporado al Sistema Nacional Interconectado, para Servicio Público y No Público).
 (2) La energía generada no disponible para el servicio público corresponde a la energía utilizada internamente para procesos productivos y de explotación, predominando las empresas petroleras.
(3) La energía de servicio público comprende el Servicio Público de Energía Eléctrica (SPEE) y el Servicio de Alumbrado Público General (SAPG).

Figura 2: Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano

Fuente: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables

Dentro de los puntos a destacar, podemos ver que la energía destinada al servicio público representó una parte significativa del consumo total en el año 2020, en contraste con años anteriores en los que alcanzó un máximo de 26.171,82 GWh. Esto subraya su relevancia para el crecimiento económico y social del país.

Uno de los principales problemas es la eficiencia energética, ya que las tecnologías tradicionales de iluminación consumen una gran cantidad de energía eléctrica, lo que se traduce en costos operativos elevados y un mayor impacto ambiental. El (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2024) menciona que en la "Guía práctica para el ahorro y uso eficiente de energía", se proponen tres objetivos: el ahorro de energía mediante su utilización consciente, la implementación de un uso eficiente y racional para lograr mayor rendimiento con menor consumo, y la adopción de fuentes. energías renovables.

Para abordar estos desafíos, se están implementando diversas soluciones. La adopción de tecnologías LED, que ofrecen una mayor eficiencia energética y una vida útil más larga, es una de las principales tendencias según lo indica (Santander Ocles, 2020). Además, los sistemas de control inteligentes permiten ajustar la intensidad y el horario de funcionamiento de las luminarias en función de las necesidades y las condiciones ambientales. La integración de energías

renovables, como la energía solar, también es una opción cada vez más popular para reducir la dependencia de la red eléctrica. La telegestión y el diseño lumínico adecuado son otras herramientas clave para optimizar el funcionamiento de los sistemas de alumbrado público y minimizar su impacto ambiental.

1.3.3 Luminarias de alumbrado público en el Ecuador

De acuerdo con los datos publicados por (ARCERNNR, s. f.) en el 2021, “Las empresas distribuidoras de electricidad contabilizaron un total de 1.786.163 luminarias de alumbrado público, lo que equivale a una potencia instalada de 275.814,40 kilovatios”.

De la misma forma, podemos observar la siguiente tabla donde se detallan todas las luminarias en el país según cada Unidad de Negocios de CNEL EP.

La Empresa Eléctrica Quito y la CNEL EP Unidad de Negocio Guayaquil se consolidan como líderes indiscutibles en el sector del SAP a nivel nacional, al contar con la mayor potencia instalada.

Empresa	Luminarias	Potencia Instalada
	(u)	(kW)
CNEL-Guayaquil	178.594	29.329,51
CNEL-Manabi	127.337	23.407,84
CNEL-Guayas Los Rios	103.524	19.260,97
CNEL-EI Oro	94.337	17.140,76
CNEL-Sto. Domingo	87.060	15.136,40
CNEL-Esmeraldas	53.253	9.524,07
CNEL-Milagro	53.072	10.142,58
CNEL-Sucumbios	50.784	6.708,97
CNEL-Sta. Elena	47.076	8.129,69
CNEL-Los Rios	35.443	6.441,26
CNEL-Bolivar	24.059	3.765,92
CNEL EP	854.539	148.987,95
E.E. Quito	293.675	48.503,82
E.E. Centro Sur	164.750	29.985,75
E.E. Ambato	136.703	19.289,67
E.E. Norte	115.966	16.318,60
E.E. Sur	70.905	8.817,69
E.E. Riobamba	70.744	9.243,03
E.E. Cotopaxi	54.269	8.127,52
E.E. Azogues	18.153	3.078,24
E.E. Galápagos	6.459	738,61
Empresas Eléctricas	931.624	144.102,92
Total general	1.786.163	293.090,87

Figura 3: Detalle de luminarias por distribuidora

Fuente: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables

1.3.4 Mapa Normativo e Institucionalidad Del Sector Eléctrico Ecuatoriano

1. La Constitución De La República Del Ecuador Registro Oficial 449 de 20-oct.-2008

Art. 313.- El Estado tiene el derecho de manejar y supervisar los sectores clave de acuerdo con principios como cuidar el medio ambiente, ser precavido, prevenir problemas y ser eficiente. (Ministerio de Defensa Nacional, 2024).

2. Ley Orgánica Del Servicio Público De Energía Eléctrica (LOSPEE):

Controla la intervención de los ámbitos gubernamentales y empresariales en vinculados al suministro público de electricidad, además de fomentar y llevar a cabo iniciativas y programas que

utilicen energías sostenibles, y la creación de sistemas para mejorar el uso de la energía eléctrica. (Ministerio de Energía y Minas - Ecuador, 2024).

3. Reglamento General A La Ley Orgánica Del Servicio Público De Energía Eléctrica

Para la implementación de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE), es fundamental establecer las disposiciones requeridas, en concordancia con los principios constitucionales de accesibilidad, continuidad, calidad, eficiencia y participación. Es esencial asegurar la transparencia en cada una de las etapas y procesos involucrados en dicha aplicación. (Ministerio de Energía y Minas – Ecuador, 2024).

4. Ley Orgánica De Eficiencia Energética

Establece las normas legales y el sistema de operación del Sistema Nacional de Eficiencia Energética (SNEE), fomentando el uso inteligente, equilibrado y perdurable de la energía en todas sus formas. El objetivo es fortalecer la seguridad energética del país, aumentar la eficiencia energética, impulsar la productividad, mejorar la competitividad económica, promover una mentalidad de sostenibilidad ambiental y eficiencia energética, contribuir a la lucha contra el cambio climático y garantizar el derecho de las personas a vivir en un entorno saludable y tomar decisiones bien fundamentadas. (Ministerio de Energía y Minas – Ecuador, 2024).

5. Alumbrado Público General

La regulación ARCERNNR 006/20 establece normas para la prestación del servicio de alumbrado público general por parte de las empresas distribuidoras eléctricas, con el objetivo de garantizar su calidad y tanto eficiencia técnica como comercial.

6. Energía Renovable en el Ecuador

La normativa ARCONEL 003/18, conocida como "Generación solar pequeña para autoconsumo de usuarios finales de electricidad", establece normas técnicas para conectar fuentes de energía renovables no convencionales a las redes eléctricas. El objetivo es garantizar que no afecte la calidad y confiabilidad del suministro eléctrico en el área donde se encuentran los generadores.”. (ARCERNNR, 2020b).

1.3.5 El Alumbrado Público en el Esquema General Eléctrico del Ecuador

Como se observa en la siguiente figura de la (ARCERNNR, 2020b), el alumbrado público se encuentra generalmente bajo la responsabilidad de las Empresas Eléctricas de Distribución, Comercialización y Alumbrado Público General. Estas empresas están encargadas de:

- **Instalación y mantenimiento:** Se encargan de instalar, reparar y mantener las luminarias en las vías públicas, parques, plazas y otros espacios públicos.
- **Gestión energética:** Optimiza el consumo energético del alumbrado público, implementando tecnologías como el control remoto, la iluminación LED y los sistemas de telegestión.
- **Facturación:** Cobran a los municipios o a otras entidades públicas por el servicio de alumbrado público.

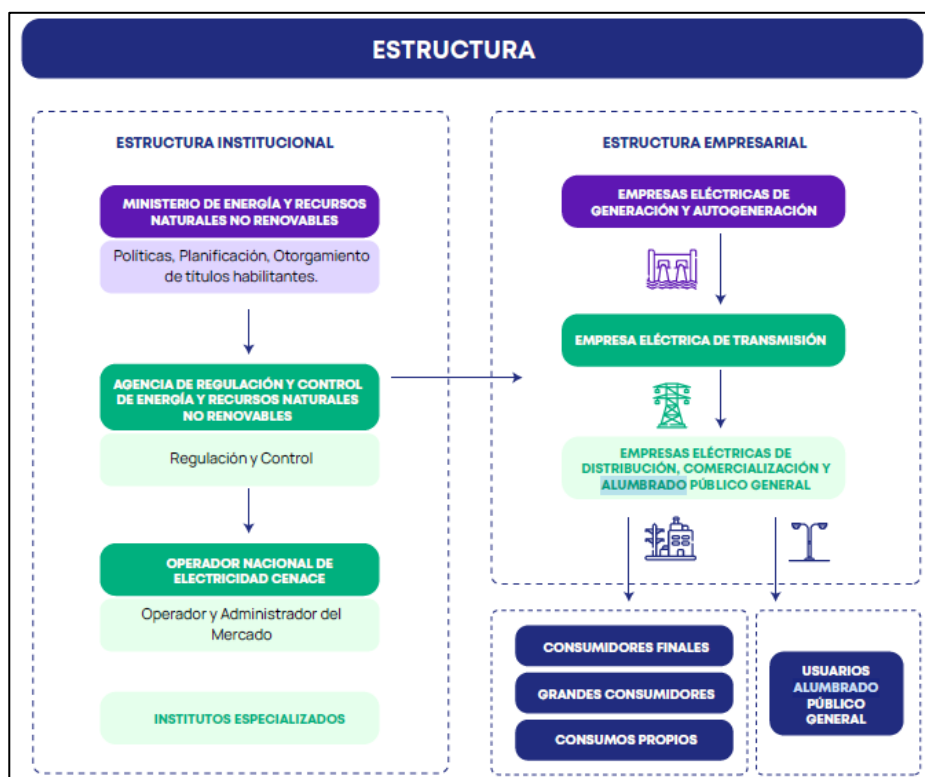


Figura 4: Estructura del Alumbrado Público en Ecuador

Fuente: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables

1.3.6 Desventajas de las Luminarias de Sodio

Las luminarias de sodio, tanto de alta como de baja presión, fueron durante mucho tiempo el estándar del SAP. Su eficiencia luminosa y bajo costo inicial las posicionaron como una opción atractiva. Sin embargo, esta tecnología presenta varias limitaciones que han llevado a su gradual reemplazo por las LED. Además de su baja eficiencia energética, tal como lo menciona (Medina Falconí, 2022) en su estudio “Análisis de eficiencia energética mediante la implementación de tecnología Led en el servicio de alumbrado público de la CNEL EP Unidad de Negocio Bolívar”, donde describe que en el SAP, las luminarias convencionales de sodio generan pérdidas considerables de energía en sus componentes, lo que resulta en una mayor emisión de gases de efecto invernadero y un mayor consumo energético.

Otro punto en contra de las luminarias de sodio es la calidad de la luz que emiten; su luz es monocromática según (Ricardo Borbor, 2019b), lo que significa que los colores no se representan de forma natural, afectando la percepción de los espacios y la seguridad vial. Además, estas luminarias tienen un tiempo de encendido lento y son frágiles, lo que implica mayores costos de mantenimiento. Otro problema es la contaminación lumínica, ya que una gran parte de la luz se dirige hacia arriba, desperdiciando energía y afectando el medio ambiente. La vida útil limitada de las luminarias de sodio, así como la dificultad para regular su intensidad, son otros factores que han contribuido a su obsolescencia. Además, algunas de estas luminarias contienen mercurio, lo que plantea problemas de eliminación al final de su vida útil y puede contaminar el medio ambiente. En contraste, las luminarias LED ofrecen una serie de ventajas significativas (Genia Energy Solutions, 2021). Son más eficientes energéticamente, tienen una vida útil mucho más larga y ofrecen una mejor calidad de luz. Además, son más versátiles y pueden ser fácilmente controladas, lo que permite adaptar la iluminación a diferentes necesidades. Debido a estas características, las LED se han convertido en la tecnología de iluminación más avanzada y sostenible para el SAP.

1.3.7 Tecnología LED y sus ventajas

La tecnología LED ha cambiado por completo la forma en que iluminamos el mundo. Los LED han demostrado ser mejores que las luces tradicionales como las incandescentes y fluorescentes. Una de sus principales ventajas, según (Quiñonez et al., 2022), es su alta eficiencia

energética. Los sistemas de alumbrado LED usan menos electricidad para dar la misma luz, lo que ayuda a ahorrar dinero en la factura de la luz y a cuidar el medio ambiente.

Según el Banco Español (BBVA, s. f.), las bombillas LED destacan por su larga vida útil, lo que reduce la frecuencia de reemplazos y los costos asociados. Su encendido es instantáneo, lo que las hace ideales para espacios que requieren una iluminación rápida y constante. Además, son más respetuosas con el medio ambiente al no contener mercurio y ofrecer diseños más versátiles. Por otro lado, las bombillas de bajo consumo también contribuyen al ahorro energético al consumir una fracción de la energía de las bombillas incandescentes. Su mayor duración y eficiencia energética se traducen en una reducción significativa de los costos de electricidad a largo plazo. Asimismo, estas bombillas generan menos calor, lo que disminuye el riesgo de quemaduras y contribuye a un ambiente más fresco.

Finalmente, los LED son más sostenibles que las tecnologías tradicionales. No contienen sustancias tóxicas como el mercurio, conforme lo menciona (*IPEN, 2007*), además de que generan menos calor, lo que los hace más seguros para desechar y reciclar. Al reducir el consumo de energía, los LED contribuyen a disminuir la liberación de gases que provocan el efecto invernadero.

1.3.8 Energía solar fotovoltaica y sus aplicaciones

Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (*IRENA – International Renewable Energy Agency, 2024*), la energía solar fotovoltaica se destaca como una de las fuentes de energía más prometedoras y sostenibles en la actualidad. La energía solar fotovoltaica permite la conversión directa de la radiación solar en electricidad, prescindiendo de la utilización de combustibles de origen fósil. La radiación solar se transforma en corriente eléctrica mediante paneles solares, la cual puede ser empleada para suministrar energía a diversos dispositivos y sistemas.

Bajo este contexto (Fernández Jofré & González Teodulo, 2020) mencionan que uno de los grandes beneficios de la energía solar fotovoltaica es que proviene de una fuente de energía que se puede renovar y que no contamina. Al venir del sol, esta fuente de energía nunca se acaba y no emite gases que causan el efecto invernadero. Esto la hace una buena opción para disminuir nuestra necesidad de usar combustibles fósiles y reducir los impactos del cambio climático.

Además, las instalaciones de energía solar están mejorando en eficiencia y precio, lo que las hace disponibles para más personas. Las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica son muy diversas. Desde la generación de electricidad para viviendas y empresas, hasta la electrificación de zonas rurales y remotas, esta tecnología ofrece soluciones energéticas para una amplia gama de necesidades. Los paneles solares pueden ser instalados en techos, fachadas o en el suelo, y su tamaño y capacidad pueden adaptarse a cualquier tipo de instalación.

Según (*National Renewable Energy Laboratory (NREL) Home Page*, s. f.), manifiesta que el futuro de la energía solar fotovoltaica es prometedor. Los avances tecnológicos y la creciente demanda de energías limpias están impulsando el desarrollo de esta industria. Se espera que en los próximos años los costos de los sistemas solares continúen disminuyendo, y que su eficiencia aumente aún más. Además, la integración de la energía solar con otras tecnologías, como las baterías de almacenamiento, permitirá un uso aún más eficiente y flexible de esta fuente de energía.

1.3.9 Sistema de Alumbrado público (SAP) con energía solar

Combinar ambas tecnologías como lo son las luminarias LED y la energía solar para beneficio del SAP se convierte en una solución sostenible para la iluminación urbana utilizando energía renovable para iluminar carreteras, caminos y espacios públicos según (Thompson, 2024). Este sistema se basa en paneles fotovoltaicos que convierten la luz solar en electricidad, la cual se almacena en baterías o se utiliza de inmediato para alimentar luces LED. Los componentes principales de estos sistemas incluyen paneles solares, que capturan la luz solar; baterías recargables, que almacenan la energía para su uso durante la noche o en días nublados; luces LED, que son eficientes y duraderas; un controlador que gestiona la carga y descarga de las baterías, y postes que sostienen tanto las luminarias como los paneles solares, optimizando su exposición al sol. Entre los beneficios del alumbrado público solar se encuentran la reducción de costos de energía, la sostenibilidad ambiental y la independencia de la red eléctrica. Sin embargo, estos sistemas enfrentan desafíos, como la inversión inicial necesaria y la variabilidad en la disponibilidad de luz solar. Por lo tanto, es fundamental que las comunidades comprendan tanto las ventajas como los obstáculos para poder adoptar efectivamente estas soluciones de iluminación sostenible.

1.3.10 Sistemas de Iluminación LED solar: Componentes y Funcionamiento

Las luces solares LED representan una opción eficaz y respetuosa con el medio ambiente en comparación con las clásicas fuentes de iluminación. Estos dispositivos utilizan la energía del sol para producir electricidad y abastecer lámparas LED, convirtiéndolos en una opción perfecta para usos en hogares, negocios y todo tipo de alumbrado público, sobre todo en lugares apartados o donde resulta complicado o costoso acceder a la red eléctrica tradicional.

Un sistema de iluminación LED solar típico, según (Sylvania, 2024) está compuesto por los siguientes elementos:

- Paneles solares:

Aprovechan la luz del sol para producir electricidad. La efectividad de los paneles solares está influenciada por cosas como la calidad de los materiales, el tamaño y la inclinación en que se colocan.

- Controlador de carga:

Regula la corriente que se envía a la batería, evitando sobrecargas y descargas profundas que podrían dañarla.

- Batería:

Almacena la energía obtenida por los paneles solares y usarla posteriormente, sobre todo por la noche o en días sin sol.

- Luces LED:

Son las lámparas que emiten luz y consumen muy poca energía en comparación con las bombillas incandescentes o fluorescentes.

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 *Enfoque metodológico de la investigación*

El análisis técnico y económico para la sustitución de luminarias de sodio por LED solar en el SAP del puente de la Unidad Nacional, tramo Guayaquil-Samborondón, requiere un enfoque metodológico robusto que permita obtener resultados precisos y aplicables. Este enfoque se fundamenta en la necesidad de abordar tanto los aspectos cuantitativos como cualitativos del estudio, lo que justifica la elección de un diseño de investigación mixto. A continuación, se detallarán las características de este enfoque, así como la naturaleza descriptiva y de campo del estudio.

2.1.1 **Enfoque metodológico**

2.1.1.1 *Cuantitativo*

El componente cuantitativo se centra en la recolección y análisis de datos numéricos relacionados con los costos de inversión, operación y mantenimiento de las luminarias de sodio y LED solares. Se utilizarán estadísticas descriptivas para evaluar el costo total de propiedad a lo largo de la vida útil de ambos sistemas, así como para realizar un análisis de costo-beneficio que permita determinar el retorno de la inversión.

2.1.2 **Naturaleza del estudio**

2.1.2.1 *Descriptivo*

El estudio se clasifica como descriptivo, ya que busca detallar y analizar las características del SAP existente y las implicaciones de la sustitución de luminarias. Este enfoque descriptivo es fundamental para comprender las condiciones actuales del alumbrado público en el puente de la Unidad Nacional y para identificar las variables que influyen en la viabilidad técnica y económica de la implementación de un sistema de iluminación LED solar.

El enfoque descriptivo permitirá identificar las características técnicas de las luminarias de sodio y LED solares, incluyendo eficiencia energética, vida útil y costos de mantenimiento. Además de analizar valores de instalación y operación de ambos sistemas, así como los ahorros proyectados a lo largo del tiempo.

2.1.2.2 De campo

El estudio también se considera de campo, ya que se llevará a cabo en el entorno real del puente de la Unidad Nacional. La investigación de campo conlleva la obtención de información y datos en el lugar donde se encuentra instalado el SAP, lo que permite obtener información contextualizada y relevante. Este enfoque es esencial para comprender las condiciones específicas del área, como la disponibilidad de radiación solar, las características del terreno y la infraestructura existente.

La investigación de campo incluirá la observación directa del estado actual del SAP, incluyendo la ubicación y condición de las luminarias de sodio. Por otro lado, nos ayudará a la recolección de información sobre la radiación solar en la región, utilizando bases de datos disponibles que permitan evaluar la viabilidad del sistema solar.

2.1.3 Justificación del enfoque metodológico

La elección de un enfoque metodológico mixto, con un diseño descriptivo y de campo, se justifica por varias razones:

1. La problemática del alumbrado público en el puente de la Unidad Nacional involucra múltiples dimensiones, incluyendo aspectos técnicos y económicos. Un enfoque mixto permite abordar esta complejidad de manera integral.
2. La recolección de datos cuantitativos es esencial para realizar un análisis económico riguroso, mientras que los datos cualitativos son necesarios para comprender los beneficios de la propuesta final que conduce a mejorar el sistema de iluminación LED solar.
3. La investigación de campo proporciona un contexto real que enriquece los hallazgos del estudio. La observación directa y la interacción permiten obtener información valiosa que puede no estar disponible a través de métodos puramente cuantitativos.

2.1.4 Plan de trabajo

Para llevar a cabo el estudio, se desarrollará un plan de trabajo que incluirá las siguientes etapas:

1. Se realizará la revisión respectiva de la literatura existente sobre iluminación pública, tecnologías LED, energía solar y estudios de caso similares. Esta revisión proporcionará un marco teórico sólido para el análisis.

2. Se llevará a cabo la recolección de datos en el campo, utilizando los métodos y técnicas previamente definidos. Esto implicará la inspección visual directa y el estudio de información ya recopilada acerca de la radiación solar en la ubicación.

3. Los datos cuantitativos se analizarán utilizando técnicas estadísticas, mientras que los datos cualitativos se analizarán mediante análisis de contenido y categorización.

4. Se redactará un informe final que presentará los hallazgos del estudio, incluyendo recomendaciones para la implementación de un sistema de iluminación LED solar en el puente de la Unidad Nacional.

2.2 Población, unidades de estudio y muestra

La selección adecuada de la población, unidades de estudio y muestra es fundamental para garantizar la validez y representatividad de los resultados en un proyecto de investigación. En el caso del análisis de factibilidad técnica y económica para la sustitución de luminarias de sodio por LED solar en el SAP del puente de la Unidad Nacional, tramo Guayaquil-Samborondón, es necesario definir claramente las unidades de análisis y el criterio muestral utilizado.

El puente de la Unidad Nacional, que conecta Guayaquil y Samborondón, se erige como una infraestructura clave en la movilidad urbana de la región. Con una longitud total de 870 metros, este puente no solo facilita el tránsito vehicular, sino que también representa un punto estratégico para el desarrollo económico y social de ambas ciudades. Según información del (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2020), la estructura incluye un terraplén de aproximación en el lado de Guayaquil, que tiene una longitud de 316,88 metros, y que actualmente soporta un tráfico diario de aproximadamente 96,000 vehículos según (Ochoa, 2024).

Además, su capacidad de carga permite el tránsito de vehículos extrapesados de hasta 66 toneladas, lo que resalta su importancia en el sistema de transporte de la región. La sección transversal del puente es igualmente significativa, con un ancho total de 20,80 metros que alberga cuatro vías de tránsito vehicular distribuidas en dos fajas de 7,50 metros cada una. También cuenta con dos vías para ciclistas de 1,20 metros y dos vías para peatones de 1,20 metros, además de un

parterre central de 1 metro. Esta configuración no solo mejora la fluidez del tráfico, sino que promueve el uso de medios de transporte alternativos, como la bicicleta, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y a la salud pública. Sin embargo, a pesar de su diseño robusto y su capacidad para manejar un alto volumen de tráfico, el SAP del puente presenta serias deficiencias. Actualmente, se utilizan 90 luminarias de vapor de sodio de 250W, que, aunque cumplen con su función de proporcionar iluminación, enfrentan múltiples problemas.

Uno de los principales desafíos es la vulnerabilidad del sistema a actos vandálicos, como el robo de cableado, que ha provocado interrupciones frecuentes en el servicio de alumbrado. Estas interrupciones no solo afectan la seguridad de los usuarios, sino que también generan un impacto negativo en la percepción pública del puente y en la imagen de las ciudades que conectan. La elección del puente de la Unidad Nacional como caso de estudio se justifica por la necesidad urgente de abordar estos problemas.

El uso de un sistema de iluminación LED alimentado por energía solar se presenta como una solución viable que podría mejorar la eficiencia energética, reducir los costos de mantenimiento y aumentar la seguridad vial. Las luminarias LED ofrecen ventajas significativas en comparación con las de sodio, incluyendo una mayor eficiencia luminosa, una vida útil más prolongada y menores costos operativos a largo plazo. Adicionalmente, al ser abastecidas con energía solar, estas luces disminuirían la necesidad de la red eléctrica.

2.2.1 Población

La población de estudio para este proyecto está conformada por el SAP del puente de la Unidad Nacional, específicamente el tramo que conecta Guayaquil y Samborondón. Este tramo cuenta con un total de 90 luminarias de vapor de sodio de 250W, distribuidas con una distancia de 40 metros entre postes. La selección de este tramo del puente se justifica debido a la frecuencia de interrupciones en el SAP causadas por el robo de cableado, lo que evidencia la necesidad de implementar una solución más robusta y autónoma. Además, el caso de estudio Guayaquil-Samborondón presenta un alto tráfico vehicular, lo que aumenta la importancia de contar con un sistema de iluminación eficiente y seguro.

2.2.2 Unidades de estudio

Las unidades de estudio para este proyecto son las 90 luminarias de vapor de sodio existentes en el tramo seleccionado del puente de la Unidad Nacional. Cada luminaria será analizada en términos de vida útil, costos de operación y mantenimiento, y compatibilidad con un sistema de iluminación LED solar. Adicionalmente, se estudiarán los componentes del sistema de iluminación LED solar, incluyendo los paneles fotovoltaicos, baterías, controladores y luminarias LED.

2.2.3 Muestra

El número total de luminarias en el tramo seleccionado es 90 unidades. Al analizar las luminarias del tramo, se garantiza la representatividad de los resultados y se obtiene una visión completa del estado actual del sistema de iluminación.

El número de luminarias 90, facilita la recolección de datos de todas las unidades sin generar una carga de trabajo excesiva. Si bien todas las luminarias son de vapor de sodio, pueden existir variaciones en su antigüedad, estado de conservación y condiciones de instalación, lo que justifica el análisis individualizado de cada unidad. El objetivo principal es evaluar la viabilidad de reemplazar el sistema de iluminación existente por LED solar. Para ello, es necesario conocer en detalle las características de cada luminaria y su entorno.

2.3 *Métodos empíricos y técnicas para la recolección de la información*

La fase de recolección de datos es fundamental en todo estudio, dado que la calidad de la información recopilada incide directamente en la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos. En el marco del estudio de viabilidad técnica y económica para reemplazar las luminarias de sodio por LED solar en el sistema de iluminación pública del puente de la Unidad Nacional, tramo Guayaquil-Samborondón, se utilizarán distintos métodos empíricos y técnicas de recopilación de información. Los métodos propuestos tienen como finalidad abordar las interrogantes de la investigación y lograr los objetivos establecidos, garantizando la pertinencia y aplicabilidad de la información recopilada.

2.3.1 Métodos empíricos

Los métodos empíricos utilizados en esta investigación se dividen en 2 categorías principales: observación directa y análisis documental. Cada uno de estos métodos tiene un propósito específico y se aplicará a diferentes grupos de interés para obtener una visión integral del problema.

1. Observación directa

La observación directa se utilizará para evaluar el estado actual del SAP en el puente de la Unidad Nacional. Este método implica la inspección visual de las luminarias de sodio existentes, así como de la infraestructura circundante. La observación permitirá identificar problemas como el vandalismo, el deterioro de los equipos y la disposición de los postes de luz.

El objetivo de la observación directa es recopilar información sobre las condiciones actuales del sistema de alumbrado, así como identificar las áreas que requieren atención inmediata. También se busca evaluar la eficiencia de la iluminación existente y su impacto en la seguridad vial.

La observación se llevará a cabo en diferentes momentos del día y en diversas condiciones climáticas para obtener una visión completa del funcionamiento del SAP. Se realizarán registros fotográficos y anotaciones sobre el estado de las luminarias y la infraestructura.

2. Análisis documental

El análisis documental se llevará a cabo para revisar estudios previos, informes técnicos y normativas relacionadas con la iluminación pública y la energía solar. Este método permitirá contextualizar la investigación y proporcionar un marco teórico sólido para el análisis.

El objetivo del análisis documental es recopilar información relevante sobre tecnologías de iluminación, costos de sustitución y mantenimiento, y experiencias previas del sistema de alumbrado público solar.

Se revisarán documentos de fuentes confiables, como informes de la Agencia Internacional de Energía, estudios de caso de otras ciudades que han implementado sistemas de iluminación solar, y normativas locales relacionadas con la energía renovable.

2.3.2 Técnicas de recolección de información

Las técnicas de recolección de información se adaptarán a los métodos empíricos seleccionados y se diseñarán para maximizar la efectividad de la recolección de datos. A continuación, se describen las técnicas específicas que se utilizarán en cada método. Para la observación directa, se aplicarán las siguientes técnicas:

- Se utilizarán formularios de registro para anotar las observaciones realizadas durante las visitas al sitio. Estos formularios incluirán registros el estado de las luminarias.
- Se tomarán fotografías de las luminarias y la infraestructura circundante para documentar visualmente el estado del SAP. Estas imágenes servirán como evidencia visual para el análisis posterior.

2.3.3 Justificación del uso del método de caso

En esta investigación, se empleará el método de caso para analizar en detalle la viabilidad técnica y económica de reemplazar las luminarias de sodio por LED solares en el SAP del puente de la Unidad Nacional. Este enfoque resulta especialmente apropiado dada la naturaleza específica del problema y la imperativa necesidad de adquirir información detallada y contextualizada.

El método de caso permite explorar el contexto específico del puente de la Unidad Nacional, incluyendo factores como la infraestructura existente, las condiciones climáticas y la dinámica de la comunidad. Esto es esencial para comprender las implicaciones del uso de un sistema de iluminación LED solar.

Mediante la utilización del enfoque de estudio de casos, es posible llevar a cabo un examen detallado de los elementos técnicos y financieros relacionados con el reemplazo de las luces. Esto implica analizar los gastos, encontrar los elementos ideales y tener en cuenta aspectos de riesgo, como los actos vandálicos. Adicionalmente, brinda datos útiles que pueden servir para orientar la toma de decisiones y la organización de la ejecución del sistema de iluminación solar con tecnología LED. Los hallazgos del estudio de caso pueden servir como modelo para futuras iniciativas en otras áreas.

Por último, nos permite la flexibilidad necesaria para adaptar el enfoque de investigación a medida que se recopila información. Esto es particularmente útil en un contexto donde pueden surgir nuevos desafíos o consideraciones a lo largo del proceso de investigación.

La recopilación de datos es un elemento fundamental en el análisis de viabilidad técnica y económica para reemplazar las luminarias de sodio por LED solares en el sistema de iluminación pública del puente de la Unidad Nacional. Se persigue obtener una comprensión completa del problema y sus posibles soluciones mediante el uso de métodos empíricos como la observación directa, encuestas, entrevistas y análisis documental. La utilización del método de caso posibilitará un análisis detallado y contextualizado, ofreciendo datos relevantes para la toma de decisiones fundamentadas en relación con la instalación de un sistema de iluminación sostenible y eficaz. Se espera que, mediante un enfoque sistemático y bien planificado, los resultados de este estudio contribuyan a la mejora de la seguridad vial, la eficiencia energética y la calidad de vida de los habitantes de la región.

2.3.4 Materiales y métodos

2.3.4.1 Materiales y herramientas

- Documentación técnica y literatura especializada.
- Software de simulación y análisis lumínicos.
- Herramientas de cálculo financiero.

El uso de estos materiales y herramientas garantizan un enfoque riguroso y completo en la evaluación de la factibilidad técnica y económica de la implementación de iluminación LED solar en el Puente de la Unidad Nacional, asegurando la recopilación precisa de datos, análisis detallados y conclusiones respaldadas para la toma de decisiones informadas.

2.3.4.2 Metodología

La metodología para realizar un análisis técnico y económico para la sustitución de las lámparas tipo sodio por luminarias solares LED en el SAP del Puente de la Unidad Nacional tramo Guayaquil-Samborondón, se basará en un enfoque detallado y sistémico que incluye una serie de pasos y recursos específicos que se irán desarrollando en el transcurso del proyecto.

- Se obtendrán datos geográficos detallados del Puente de la Unidad Nacional, incluyendo longitud, latitud y altitud.
- Se recopilarán datos históricos de radiación solar, temperatura, humedad y precipitación en la zona del puente, con el fin de determinar el potencial energético solar y las condiciones ambientales a las que estará expuesto el sistema.
- Se realizará una revisión exhaustiva de literatura, investigaciones previas y estudios relevantes sobre iluminación LED solar, tecnologías solares, condiciones geográficas y requisitos de seguridad vial.
- Se utilizarán herramientas y software especializados para evaluar la disponibilidad de radiación solar en la zona y estimar la capacidad de generación de energía solar para el sistema de alumbrado LED propuesto.
- Se analizarán diversas opciones de luminarias LED y componentes fotovoltaicos disponibles en el mercado, considerando su eficiencia energética, durabilidad y adaptabilidad a las condiciones del puente.
- Se realizará una estimación detallada de los costos de adquisición, instalación, mantenimiento y ahorros esperados en costos de energía a lo largo del tiempo. Se emplearán herramientas financieras para calcular el retorno de inversión.
- Se recopilarán todos los resultados, conclusiones y recomendaciones en un informe detallado que presente la viabilidad técnica y económica del proyecto, respaldado por datos y análisis concretos.

2.4 Formas de procesamiento de la información obtenida de la aplicación de los métodos y técnicas

El procesamiento de la información recopilada a través de la aplicación de métodos y técnicas de recolección de datos es un paso crucial en cualquier investigación. En el contexto del análisis de viabilidad técnica y económica para sustituir las luminarias de sodio por LED solares en el sistema de alumbrado público del puente de la Unidad Nacional, tramo Guayaquil-Samborondón, se aplicarán diversas estrategias para la organización, tabulación y evaluación de los datos recolectados. Este procedimiento posibilitará la obtención de conclusiones precisas y

favorecerá la presentación visual de los resultados gráficos mediante tablas, lo cual promoverá una comprensión más profunda de los descubrimientos.

El primer paso en el procesamiento de la información es la organización de datos. Una vez recopilados los datos mediante métodos empíricos, como la observación directa, se procederá a clasificar y estructurar sistemáticamente esta información. Para ello, se utilizarán hojas de cálculo que permitirán ingresar los datos en un formato que facilite su análisis posterior. Por ejemplo, los cálculos técnicos económicos se organizarán en columnas que representen diferentes variables en el sistema de alumbrado actual y la percepción de adoptar un sistema de iluminación solar. Esta tabulación inicial es fundamental para asegurar que los datos sean fácilmente accesibles y manipulables durante las siguientes etapas de análisis.

El análisis de datos es la etapa siguiente en el proceso de tratamiento de la información. Este proceso implica la aplicación de técnicas estadísticas y cualitativas para interpretar los datos recolectados. Se llevará a cabo un análisis de contenido que permitirá identificar patrones y temas. Por ejemplo, se podrían identificar temas comunes sobre la seguridad y la durabilidad de las luminarias LED solares, así como expectativas sobre la mejora en la calidad del SAP. Este enfoque cualitativo complementará los hallazgos cuantitativos, proporcionando un contexto más rico y detallado sobre las percepciones de los grupos de interés.

Una vez completado el análisis de datos, se procederá a la identificación y formulación de patrones. La identificación de tendencias y patrones en los datos es un paso crucial en el proceso, ya que puede contribuir a abordar las interrogantes de investigación formuladas. La visualización de los resultados constituye un elemento fundamental en el proceso de análisis de la información. Con el fin de mejorar la comprensión de los resultados, se elaborarán gráficos y tablas que presentarán los datos de forma precisa y concisa.

En el caso de las hipótesis en el estudio, es fundamental presentar la operacionalización de las variables dependientes e independientes. La operacionalización implica definir cómo se medirán y evaluarán estas variables en el contexto de la investigación. En este caso, las variables independientes podrían incluir factores como el tipo de luminaria (Sodio vs. LED solar), la disponibilidad de radiación solar en la región y los costos de instalación y mantenimiento. Por otro lado, la variable dependiente podría ser la percepción de seguridad de los usuarios en el puente,

que se medirá a través de encuestas que evalúen la satisfacción con el sistema de alumbrado actual y la percepción de riesgo en la zona.

La evaluación de los costos de inversión inicial y de mantenimiento de los sistemas de alumbrado se considera dentro del proceso de procesamiento de la información. Se crearán tablas que muestrearán un análisis detallado de los gastos relacionados con la implementación de sistemas de iluminación LED solar en contraste con los sistemas de iluminación de sodio.

Es esencial determinar el costo total de propiedad de cada sistema a lo largo de su vida útil para realizar un análisis de costo-beneficio. El objetivo principal de este estudio es identificar el punto en el que los beneficios de la inversión igualan los costos, y analizar la viabilidad financiera de reemplazar las luminarias.

Por último, resulta crucial tener en cuenta la manera en que se presentan los resultados en el informe definitivo de la investigación. Este informe debe estructurarse de manera clara y lógica, comenzando con una introducción que contextualice el estudio y presente las preguntas de investigación.

CAPÍTULO III

3 PROPUESTA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO

3.1 *Fundamentos de la propuesta*

La presente investigación se fundamenta en la necesidad de optimizar los sistemas de alumbrado público, buscando soluciones más eficientes, sostenibles y seguras. En este sentido, el estudio se centra en la evaluación de la viabilidad técnica y económica de sustituir las tradicionales luminarias de sodio por luminarias LED alimentadas con energía solar en el Puente de la Unidad Nacional.

Los fundamentos teóricos que sustentan esta investigación se basan en las ventajas de la tecnología LED, como su alta eficiencia energética, larga vida útil y mejor calidad de luz. El uso de la energía solar como fuente de energía se relaciona con los objetivos de sostenibilidad al disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. Además, contribuye a la reducción de impactos ambientales.

Desde una perspectiva práctica, el estudio aborda un problema concreto: el robo constante de cableado en el puente, que afecta la seguridad y genera pérdidas económicas altas. El uso de un sistema de iluminación LED solar se presenta como una solución viable para mitigar este problema, al ofrecer una fuente de energía autónoma y resistente a los actos vandálicos.

La investigación también considera los beneficios económicos asociados a la adopción de esta tecnología, como la reducción de los costos de operación y mantenimiento a largo plazo. Además, se reconoce el impacto social positivo de una mejor iluminación pública, que contribuye a aumentar la seguridad vial y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Esta investigación se enmarca en un contexto legal y normativo favorable, donde existen regulaciones que promueven el uso de energías renovables y la eficiencia energética. Esto crea un entorno propicio para la implementación de proyectos como el propuesto. Además, se busca demostrar la viabilidad técnica y económica de sustituir las luminarias de sodio por luminarias LED solares en el Puente de la Unidad Nacional, contribuyendo así a la construcción de ciudades más sostenibles y seguras.

3.2 *Presentación de la propuesta*

El propósito principal de esta propuesta es ofrecer una solución completa para mejorar el Sistema de Alumbrado Público del Puente de la Unidad Nacional mediante la instalación de un sistema de iluminación LED que funcione con energía solar. El objetivo de este proyecto es mejorar la eficiencia energética, disminuir los gastos de operación y mantenimiento, y elevar los estándares de seguridad vial en esta importante infraestructura.

3.2.1 **Componentes del Sistema:**

El sistema de iluminación propuesto se compone de los siguientes elementos clave:

- **Luminarias LED:** Se seleccionarán luminarias LED de alta eficiencia y durabilidad, diseñadas específicamente para aplicaciones de alumbrado exterior.
- **Paneles solares:** Se seleccionarán paneles solares de alta eficiencia con el fin de captar la radiación solar y generar la energía necesaria para alimentar las luminarias.
- **Batería:** Se tomará en cuenta una buena capacidad de la batería para que sea suficiente y poder almacenar la energía generada por los paneles solares y así garantizar el suministro de energía durante las horas de oscuridad y en días nublados.
- **Controladores:** Se utilizarán controladores para gestionar la operación del sistema, optimizando el consumo de energía.

3.2.2 **Estructuración del Sistema**

El sistema se estructurará en módulos independientes, cada uno de los cuales alimentará su propia luminaria individual.

3.2.3 **Funcionamiento del Sistema**

Durante el día, los paneles solares captarán la radiación solar y generarán energía eléctrica, la cual será almacenada en las baterías. Durante la noche, las baterías alimentarán las luminarias LED, proporcionando una iluminación eficiente y segura. Los controladores inteligentes se encargarán de gestionar el flujo de energía y optimizar el rendimiento del sistema.

3.2.4 Recomendaciones Metodológicas para la elección de componentes fotovoltaicos

Para asegurar el éxito del análisis del proyecto, se realizará un estudio detallado de las condiciones climáticas, geográficas garantizando la iluminación del Puente de la Unidad Nacional dimensionando adecuadamente los componentes del sistema.

3.3 Ejecución de la propuesta

3.3.1 Recopilación de datos sobre el escenario escogido

Conforme a la información detallada por (CNEL EP, 2022a), el SAP que tiene bajo su responsabilidad suma un total de 852.471 luminarias, de las cuales 178.532 están distribuidas en la Unidad de Negocio Guayaquil, siendo este el mayor porcentaje del total de luminarias del país. Es relevante destacar que el SAP cuenta con dos áreas de responsabilidad, una a cargo de las municipalidades y otra gestionada por CNEL EP.

UN	TOTAL LUMINARIAS
BOL	24.077
EOR	94.060
ESM	53.154
GYE	178.532
GLR	103.152
LRS	34.595
MAN	126.167
MLG	52.575
STE	48.590
STD	86.866
SUC	50.703
CNEL EP	852.471

Figura 5: Distribución de luminarias alumbrado público en Ecuador por Unidades de Negocio
Fuente: CNEL EP

Conforme a la información de (ARCERNNR, 2020a) en la Nro. ARCERNNR – 029/2020 “El alumbrado público se refiere a la iluminación de calles y áreas públicas que tienen como objetivo principal facilitar la movilidad, garantizar la seguridad, contribuir a la ornamentación y favorecer la práctica deportiva. El alumbrado público se divide en tres categorías: alumbrado público general, alumbrado público ornamental y alumbrado público intervenido.”

El alumbrado público general comprende los sistemas de iluminación de vías urbanas y rurales diseñados para facilitar el desplazamiento de peatones y automóviles. Además, abarca los sistemas de iluminación de instalaciones deportivas al aire libre de acceso público, ya sean cubiertas o descubiertas, de propiedad pública o comunitaria, ubicadas tanto en áreas urbanas como rurales. En propiedades horizontales, se propone la omisión de la iluminación en áreas comunes, así como la iluminación ornamental y decorativa en espacios públicos.

Los activos del SAPG comprenden diversos elementos, tales como luminarias, redes, transformadores y postes, que han sido especialmente diseñados para este fin. Estos activos incluyen también dispositivos de control y otros componentes necesarios para la prestación del Servicio de Alumbrado Público General, los cuales no forman parte del sistema de distribución de energía eléctrica.

A continuación, los datos técnicos esenciales del sitio de estudio escogido:

Tabla 1: Datos técnicos

Información técnica	Total de luminarias	Horas funcionamiento	Capacidad del transformador	Propiedad	Voltaje Luminarias	Fase de bajo Voltaje
1	52	12	75 KVA	CNEL Guayaquil	240	AC
2	38	12	37.5 KVA	CNEL Guayaquil	240	AC

Fuente: Autor

Conforme a la información obtenida en la visita de campo, se pudo observar que los postes son tipo metálicos y por ende la conexión eléctrica es un proceso que requiere de una planificación detallada y la consideración de diversos factores. El entorno costero de la ciudad, con su alta humedad y salinidad, exige el uso de materiales resistentes. Además, las normas eléctricas locales y nacionales, así como las regulaciones municipales, deben cumplirse estrictamente para garantizar la seguridad de las instalaciones.



Figura 6: Puente de la Unidad Nacional
Fuente: CNEL EP

El voltaje estándar en Guayaquil para el alumbrado público es de 240V AC monofásico. Esta tensión alimenta las luminarias, que pueden ser de diferentes tecnologías, como las tradicionales de sodio o las más eficientes LED. Los postes metálicos, generalmente de acero galvanizado, soportan las luminarias y el cableado. La conexión eléctrica implica la instalación de conductores adecuados (cobre o aluminio), conectores y dispositivos de protección como fusibles o interruptores automáticos.

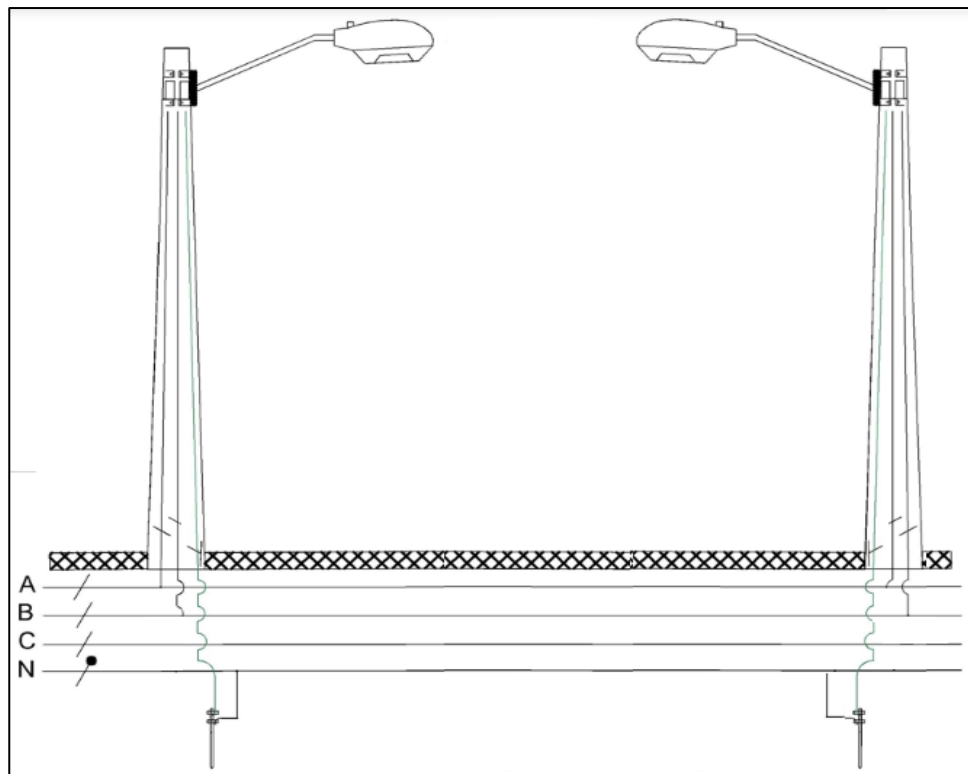


Figura 7: Conexión representativa alumbrado publico
Fuente: CNEL EP

Por otro lado, confirma los datos mencionados anteriormente sobre la distancia del puente en análisis, el cual nos daba 870m. Usando herramientas como el Google Earth podemos confirmar dicha información.

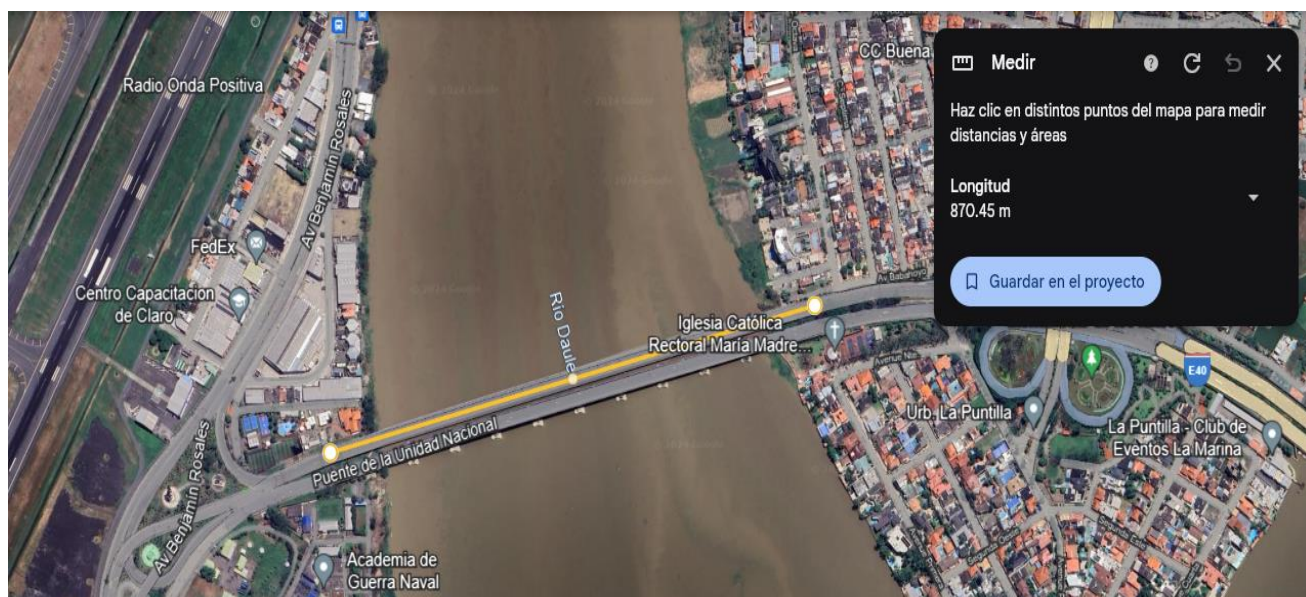


Figura 8: Medición Puente Unidad Nacional tramo Guayaquil-Samborondón
Fuente: Google Earth

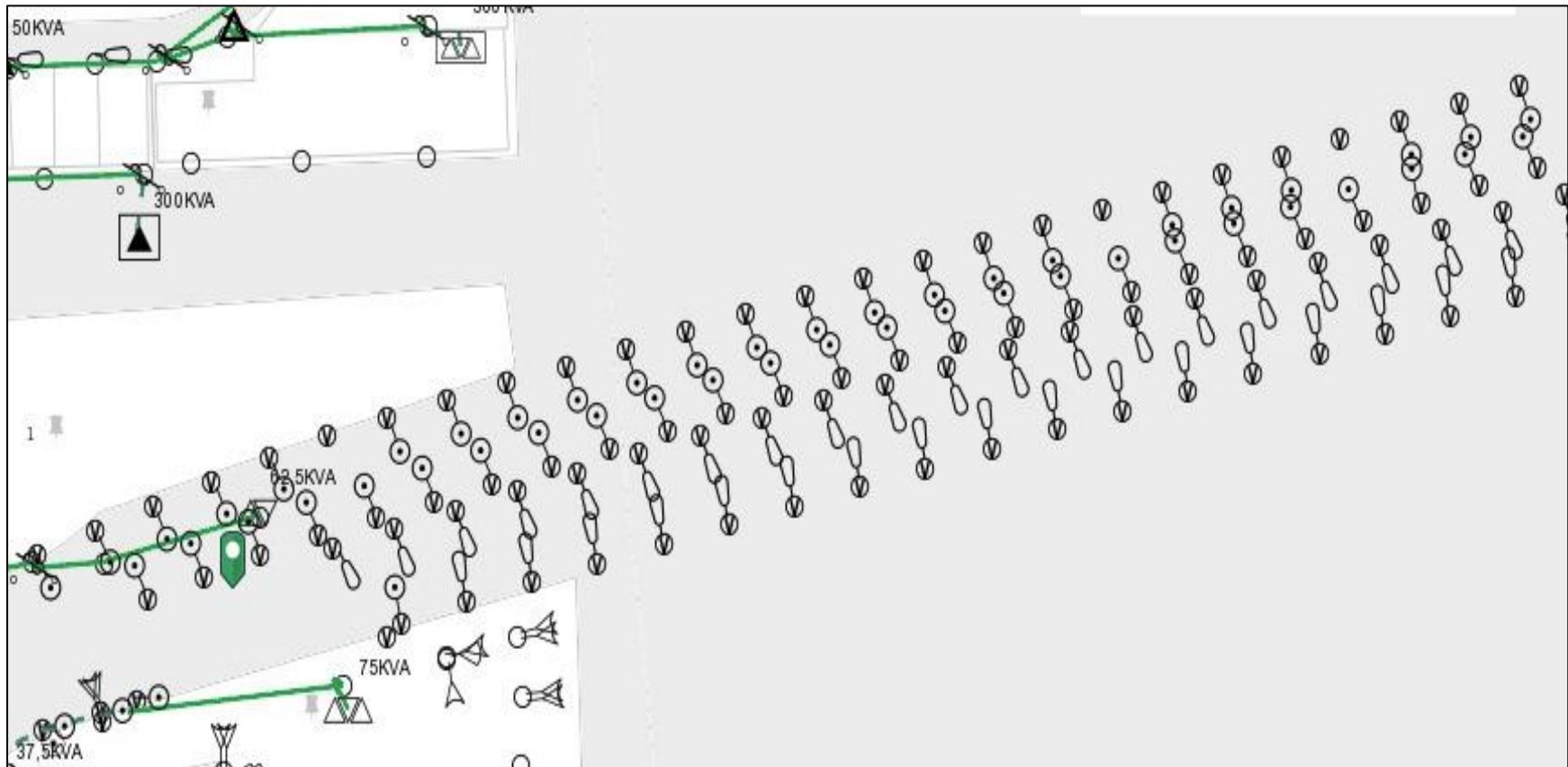


Figura 10: Diagrama luminarias alumbrado público Puente Unidad Nacional, lado Guayaquil.

Fuente: CNEL EP

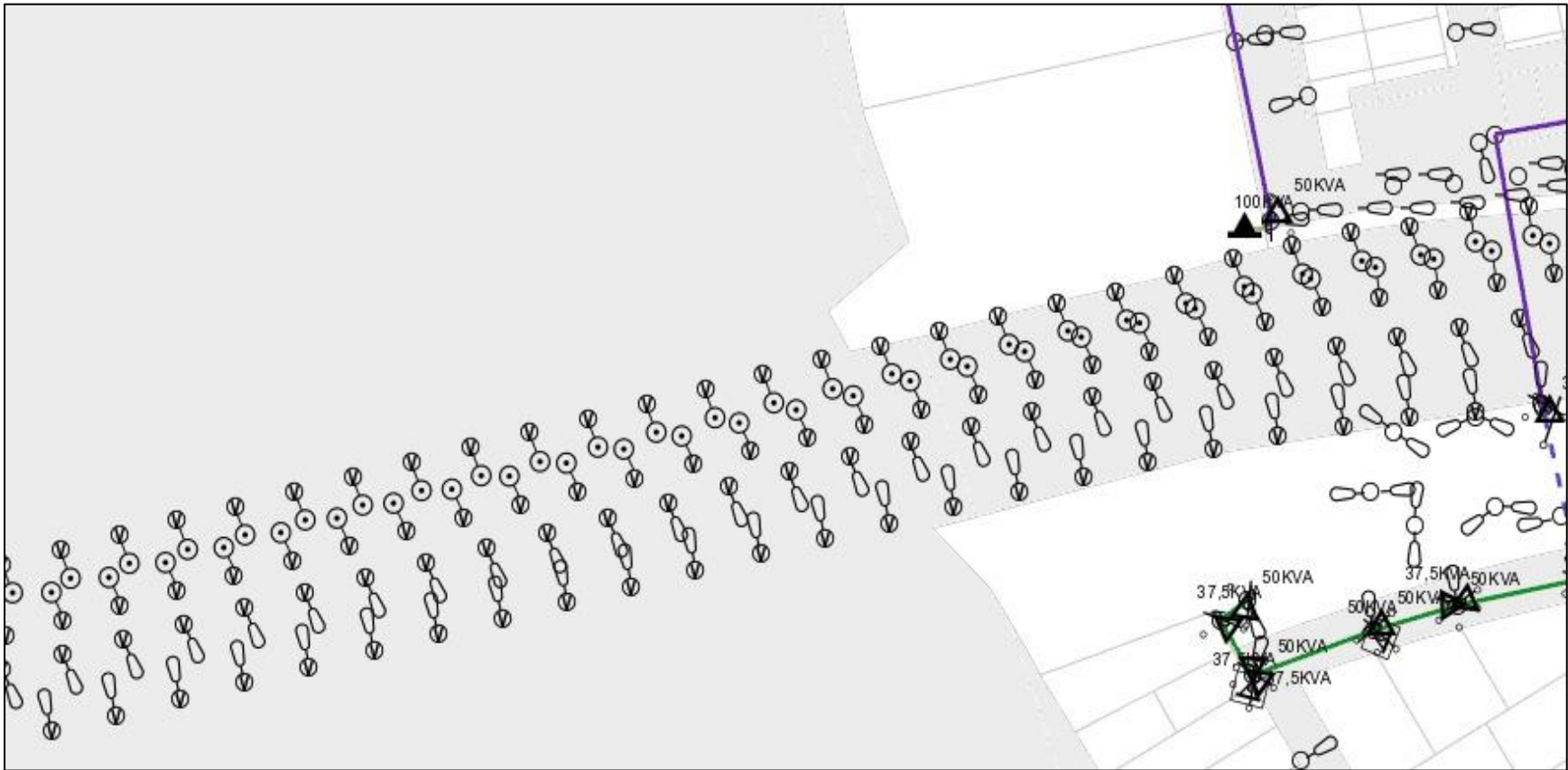
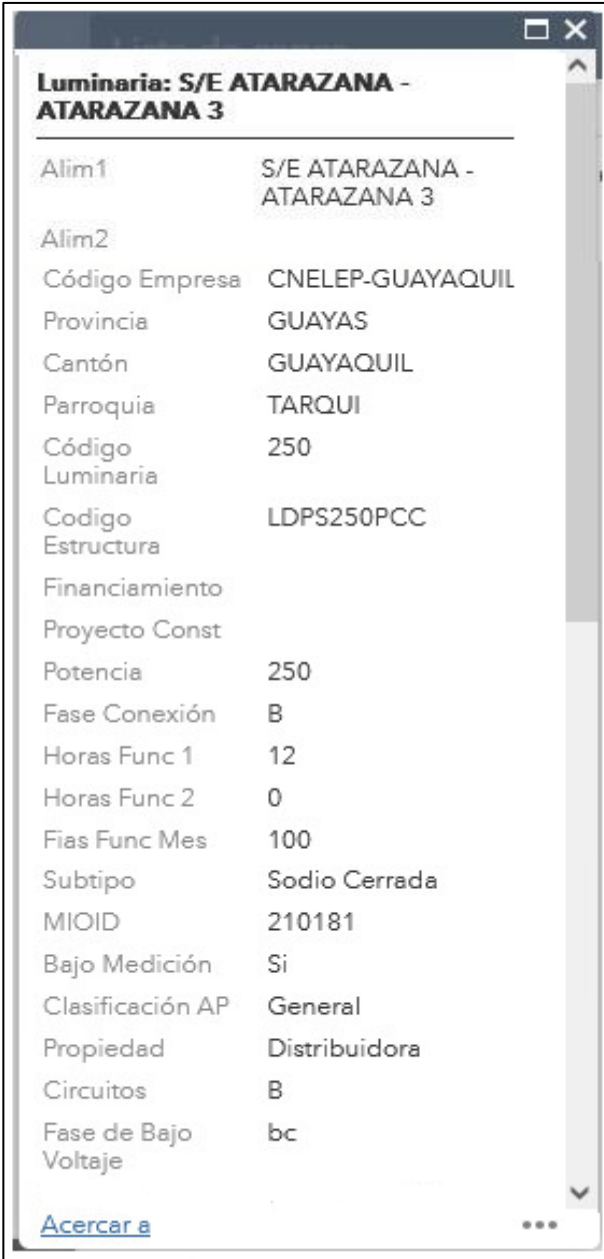


Figura 11: Diagrama luminarias de alumbrado público Puente Unidad Nacional, lado Samborondón.

Fuente: CNEL EP

3.3.2 Tipo de luminaria de Sodio instalada en el Puente de la Unidad Nacional

Otro punto relevante que se logró identificar e investigar en el sitio es el tipo de luminaria de sodio que se encuentran instaladas en los postes; a continuación, los detalles específicos:



Luminaria: S/E ATARAZANA - ATARAZANA 3	
Alim1	S/E ATARAZANA - ATARAZANA 3
Alim2	
Código Empresa	CNELEP-GUAYAQUIL
Provincia	GUAYAS
Cantón	GUAYAQUIL
Parroquia	TARQUI
Código Luminaria	250
Código Estructura	LDPS250PCC
Financiamiento	
Proyecto Const	
Potencia	250
Fase Conexión	B
Horas Func 1	12
Horas Func 2	0
Fias Func Mes	100
Subtipo	Sodio Cerrada
MIOID	210181
Bajo Medición	Si
Clasificación AP	General
Propiedad	Distribuidora
Circuitos	B
Fase de Bajo Voltaje	bc

[Acercar a](#)

Figura 12: Información luminaria sodio del Puente Unidad Nacional
Fuente: CNEL EP

La ficha técnica anterior de la luminaria de sodio actualmente instalada en el sitio de análisis es un dato clave para llevar a cabo un estudio detallado y preciso sobre la viabilidad de reemplazar las luminarias de sodio por tecnología LED en el Puente de la Unidad Nacional. Esta información nos proporciona una base sólida para comprender el estado actual del SAP en esta vía.

En primer lugar, la ficha técnica nos permite caracterizar el sistema actual. Al conocer la potencia, el tipo de lámpara y el consumo energético de las luminarias existentes, podemos determinar la cantidad de energía que se está utilizando actualmente. Esta información es fundamental para calcular el potencial de ahorro energético que se puede lograr con la implementación de las nuevas luminarias LED.

En segundo lugar, esta información nos sirve para dimensionar adecuadamente el nuevo sistema, ya que el nuevo sistema debería igualar o mejorar la iluminación por las de tipo sodio. Conociendo las características de las luminarias actuales, podemos determinar la dimensión del panel solar por luminaria, baterías y lámparas LED necesarias para garantizar un funcionamiento óptimo del nuevo sistema de iluminación en comparación con las ya instaladas. Es decir, podemos diseñar un sistema que se adapte perfectamente a las necesidades del Puente de la Unidad Nacional.

Además, esta información nos ayuda a estimar los costos asociados al proyecto. Al conocer las características de las luminarias existentes, podemos calcular los costos de adquisición de los nuevos equipos, los costos de instalación y los costos de mantenimiento. Esta información es esencial para elaborar un presupuesto detallado del proyecto y evaluar su viabilidad económica.

3.3.3 Comparativas entre luminarias de Sodio y LED solar

La elección entre la iluminación de sodio tradicional y la iluminación LED solar implica una evaluación exhaustiva de los costos involucrados. A largo plazo, las soluciones LED solares suelen ser más rentables, pero es crucial analizar los costos iniciales, de operación y de mantenimiento para cada tecnología.

Tabla 2: Comparación de costos

	Iluminación de sodio	Iluminación LED solar
Costos Iniciales	Los costos iniciales suelen ser más bajos, ya que los componentes son generalmente menos costosos. Sin embargo, es necesario considerar los gastos de instalación de la red eléctrica y los postes.	Los costos iniciales son más elevados debido al costo de los paneles solares, las baterías y los controladores. No obstante, al no requerir una conexión a la red eléctrica, se eliminan los costos asociados a la instalación
Costos de Operación	Los costos de operación son elevados debido al consumo constante de energía eléctrica. Además, es necesario considerar los costos de reemplazo de las lámparas, que tienen una vida útil limitada.	Los costos de operación son prácticamente nulos una vez instalado el sistema, ya que la energía proviene del sol. Los únicos costos son los de mantenimiento periódico, que suelen ser mínimos.
Costos de Mantenimiento	Requiere un mantenimiento regular, que incluye la limpieza de las luminarias, el reemplazo de lámparas y la reparación de posibles averías en la red eléctrica.	El mantenimiento es menos frecuente y se centra principalmente en la limpieza de los paneles solares. La vida útil de los componentes LED es mucho más larga que la de las lámparas de sodio.
Factores a Considerar	Las luminarias LED tienen una vida útil significativamente más larga que las lámparas de sodio, lo que reduce los costos de reemplazo a largo plazo.	Las luminarias LED son mucho más eficientes que las lámparas de sodio, lo que se traduce en un menor consumo de energía y, por lo tanto, en menores costos de operación.

Fuente: Autor

3.4 Datos de luminaria de sodio instaladas en el sitio de estudio

Características de luminarias de Sodio instaladas el actualmente en el sitio:

- Potencia nominal: 250 Watts
- Eficiencia lumínica: 130 lm/W – 32500 lúmenes
- Casquillo: E40
- Vida media (horas): 18000hrs.
- Altura de instalación: 10 – 12m
- Temperatura de color (K): 2100
- CRI: <25
- Clase Eléctrica: CLASE 1 - IEC 60598
- Factor Potencia: >0.92 Voltaje: 120 - 240V / 220 - 127V
- Herm Conj Elect: IP 66
- Herm Conj Opt: IP 65
- Resistencia Mecánica: IK 08
- Componentes: Base de fotocélula, balastros DNP, ignitor y capacitor



Figura 13: Bombillo luminaria de Sodio 250W
Fuente: Sylvania

Las luminarias de sodio de 250 Watts, con un casquillo E40 y una vida útil promedio de 18000 horas, han sido una opción común en sistemas de iluminación exterior debido a su bajo costo. Estas luminarias emiten una luz de color amarillo-naranja (temperatura de color alrededor de 2100K) y ofrecen un flujo luminoso entre 25,000 y 35,000 lúmenes. Sin embargo, su bajo índice de reproducción cromática ($CRI < 25$) limita la percepción de los colores, lo que afecta la visibilidad y la estética en ciertas aplicaciones.

3.5 Elección de luminaria LED

La elección de la tecnología LED para la iluminación del Puente de la Unidad Nacional se basa en una evaluación exhaustiva de las necesidades lumínicas y en los últimos avances en tecnología de iluminación. La Norma CIE TC 1-58 de la (*Comisión Internacional de Iluminación (CIE)-Consejo Científico Internacional*, s. f.), referente mundial en la evaluación de la visión mesópica, ha sido fundamental en esta decisión.

De acuerdo con la norma CIE TC 1-58, la relación fotópica/escotópica de las fuentes de luz influye significativamente en la percepción visual y en la eficiencia energética. Los LED, especialmente los de espectro completo, ofrecen una relación S/P (flujo luminoso/potencia) superior a las tecnologías tradicionales, como las lámparas de sodio o halogenuros metálicos. Esto significa que una LED de 120W puede proporcionar una iluminación equivalente, o incluso

superior, a una lámpara tradicional de mayor potencia, lo que se traduce en un ahorro energético considerable.

Según la Norma CIE TC 1-58 los valores promedios de las luminarias de sodio son las siguientes:

Tabla 3: Norma CIE TC 1-58

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

Fuente: CIE Consejo Internacional de Iluminación

Es importante destacar que esta fuente de luz es altamente confiable en términos de su funcionamiento eléctrico y tiene una vida útil prolongada (más de 18.000 horas, lo que equivale a más de 4 años de uso en una instalación de alumbrado de carreteras, y puede llegar hasta las 25.000 horas con un equipo adecuado y la tensión correcta).

El flujo luminoso es el parámetro inicial y fundamental en luminotecnia, ya que guarda relación con otros parámetros luminotécnicos. La luminancia es la medida de la intensidad de la luz emitida por una fuente lumínica, considerando la respuesta visual del ojo humano. En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad de medida utilizada es el lumen (lm), el cual se define en relación con la unidad fundamental candela (cd) como $lm = cd \cdot sr$.

La relación entre el nivel de iluminación, medido en lux, y la cantidad de lúmenes que llegan a una superficie se establece mediante la fórmula $lux = \text{lúmenes/metro cuadrado}$. No obstante, los lúmenes mencionados en esta expresión son los lúmenes efectivos que emanan de la luminaria y alcanzan el plano de trabajo, y están principalmente determinados por la eficacia de la luminaria y la percepción visual del ojo humano.

En el ámbito de la iluminación, la relación S/P se define como la eficacia luminosa de una fuente de luz. En concreto, mide la cantidad de flujo luminoso (medido en lúmenes) obtenido por cada vatio de potencia eléctrica utilizada.

- S: Representa el flujo luminoso (en flujo luminoso (en lúmenes)).
- P: Representa la potencia eléctrica utilizada (en Potencia eléctrica utilizada (en vatios)).

Una relación S/P más alta indica que una fuente de luz es más eficiente, ya que produce más luz por unidad de energía eléctrica utilizada. La Norma CIE TC 1-58 establece los siguientes valores para realizar el cálculo en la sustitución de una luminaria LED por una de sodio:

Tabla 4: Relación S/P

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

Fuente: CIE Consejo Internacional de Iluminación

Considerando aquello podemos realizar la conversión donde se determina que la potencia adecuada para la sustitución de una luminaria de sodio de 250W es la LED de 120W:

- $Sodio\ 250W * 130\ lm/W = 32500 * 0.65 = 21165\ lm$
- $LED\ 120W * 160\ lm/W = 19200 * 1.3 = 24960\ lm$

3.6 Elección del Kit de alumbrado público solar

De acuerdo a indagaciones y luego del análisis de las diversas opciones disponibles en el mercado ecuatoriano, se ha seleccionado el kit solar “SYLVANIA P38233-36 KIT SOLAR SYL-STREET 120W 2NPC” como el más adecuado para este proyecto. Esta decisión se fundamenta en las siguientes razones técnicas:

- Las luminarias LED de 120 W incluida en este kit ofrecen una excelente relación entre el flujo luminoso y el consumo energético, lo que se traduce en un mayor ahorro de energía.

- Los componentes del kit, especialmente los LED, tienen una vida útil considerablemente mayor que las tradicionales lámparas de sodio, reduciendo así los costos de mantenimiento a largo plazo.
- El kit está diseñado para soportar las condiciones climáticas típicas de la región, incluyendo altas temperaturas, humedad y exposición a la radiación solar.
- El kit cuenta con un diseño modular que facilita su instalación y puesta en marcha, lo que reduce los tiempos y costos asociados a la implementación del proyecto.
- Los componentes del kit son compatibles entre sí y con los sistemas de montaje existentes en el puente, lo que simplifica la integración del nuevo sistema de alumbrado.

3.6.1 Especificaciones técnicas de los componentes del Kit solar

3.6.1.1 Data Sheet luminaria LED 120W

Tabla 5: Data Sheet luminaria LED 120W

DATOS LUMINARIA LED 120W	
1. INFORMACIÓN ÓPTICA	
Temperatura de color	4000K (NW)
Flujo luminoso inicial	19200lm
Reproducción de color (IRC)	≥70
Vida útil LED	100000 h
Transmitancia Lente	92%
Tipo chip LED	TYF 5050
Número de chip LED	72pcs
Tipo de Lente	PMMA
2. PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y FÍSICOS	
Ángulo de inclinación	0° a 20°
Eficacia Luminaria	160 lm/W
Potencia Luminaria	120 W (Atenuable)
Base fotocelda	No
Grado de protección	IP66 / IK09
Temperatura de operación Ta	"-40°C ~ +45°C"
Dimensiones Luminaria	544x219x97 mm
Tensión nominal recomendada	240 V / 110 V

Fuente: Sylvania

3.6.1.2 Data Sheet Panel solar

Tabla 6: Data Sheet Panel solar

PANEL SOLAR DE 450W	
Cantidad de Paneles	1
Potencia máxima paneles unit.	450W
Tensión max. de salida unit	41.5V
Corriente max. Unit	10.85A
Corriente de corto circuito unit	11.60A
No de Celdas	144(6X24)
Fusible	Max 20A
Eficiencia Modulo	0.207
Tipo de vidrio	Vidrio Templado
Garantía de fabricación	10años(90% Pnominal) 25 años(80% Pnominal)
Dimensiones	2096x1039x35 mm
Dimensiones Celdas	156.75x156.75
Peso [kg]	24.0 kg

Fuente: Sylvania

3.6.1.3 Data Sheet batería

Tabla 7: Data Sheet batería

DATOS BATERIA 12VDC-220AH	
Cantidad de Baterías	1
Tipo batería	Lead Acid Gel+Separador AGM+Caja ABS
Capacidad Unit [Ah]	200
Tensión nominal [VDC]	12
Ciclos de funcionamiento	>2000 ciclos+DOD 26%
Vida útil estimada	>5 años
Temperatura [°C]	Descarga:-30°C~+50°C Carga: 0°C~+40°C Almacenamiento:-30°C~+40°C
Dimensiones Unit [mm]	522x240x244 mm ± 8mm
Autonomía [Horas]	20

Fuente: Sylvania

3.6.1.4 Data Sheet controlador

Tabla 8: Data Sheet controlador

CONTROLADOR SOLAR MPPT	
Máx. potencia (Solar)	200W/12VDC 400W/24VDC
Máx. potencia (Luminaria)	80W/12VDC 160W/24VDC
Rango de corriente ajustable	50mA - 5600mA
Período de trabajo de carga	9 periodos / escenas distintas

Fuente: Sylvania

3.6.1.5 Conexión del kit fotovoltaico

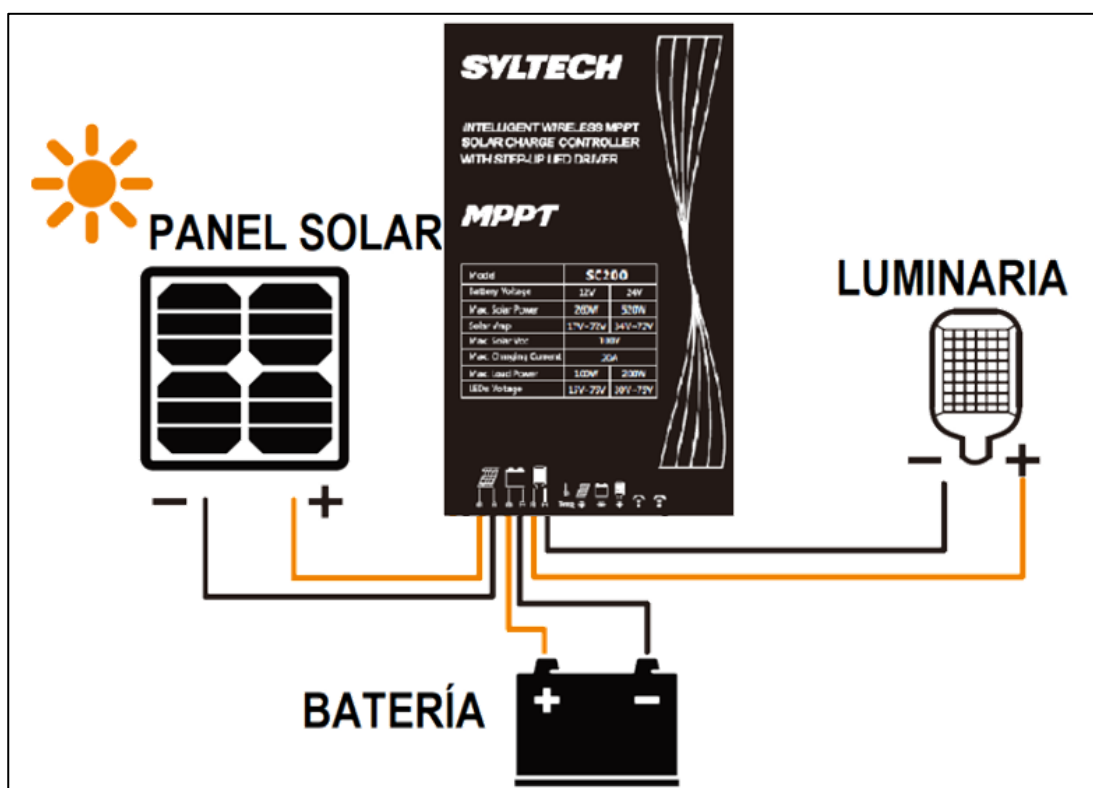


Figura 14: Conexión del kit fotovoltaico

Fuente: Sylvania

3.7 Análisis económico sobre la rentabilidad del proyecto

3.7.1 Costo del Kit solar

Según cotizaciones obtenidas de vendedores autorizados de la marca SYLVANIA, el costo total del kit solar P38233-36 KIT SOLAR SYL-STREET 120W 2NPC asciende a USD 1600. Este valor corresponde al precio unitario del kit, incluyendo los paneles solares, el controlador de carga, la batería y los accesorios de montaje necesarios para su funcionamiento óptimo. Es importante destacar que este precio se obtuvo considerando las especificaciones técnicas detalladas del kit, las cuales se ajustan a las necesidades específicas del proyecto de iluminación del puente de la Unidad Nacional. Además, se ha verificado la disponibilidad del producto en el mercado local, lo que garantiza una entrega oportuna y facilita el proceso de instalación.

3.7.2 Parámetros a considerar para el costo del kWh en el SAPG

Conforme a la información obtenida en el “Informe Técnico - Económico Del Análisis Y Determinación del Costo Del Servicio De Alumbrado Público General” de la (*INF-DRETSE-2023-042_Costos-SAPG-2024*, s. f.) para el periodo de enero a diciembre del 2024, podemos obtener referencias para calcular el costo del kWh para el SAPG en el Ecuador.

Es fundamental comprender los costos requeridos para la gestión, operación y mantenimiento de las instalaciones del sistema de alumbrado público en óptimas condiciones. La estructura del costo del Servicio de Alumbrado Público General, de acuerdo con la normativa actualmente en vigor, se compone de los siguientes elementos:

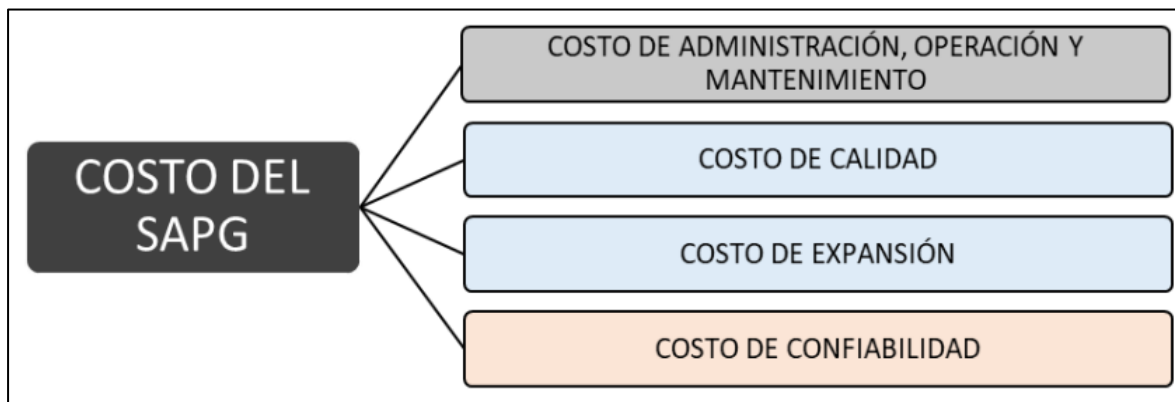


Figura 15: Componentes del Costo del SAPG

Fuente: Dirección de Regulación Económica y Tarifas del Sector Eléctrico, DRETSE – ARC

En relación a lo anterior podemos ampliar cada uno de los términos y a lo que hace referencia:

3.7.3 Componentes del Costo del SAPG

- **Costo de administración:** Incluye salarios, seguros, impuestos y otros gastos administrativos relacionados con la gestión del sistema.
- **Costo de operación:** Abarca los gastos asociados a la energía eléctrica consumida, combustibles, lubricantes y otros insumos necesarios para el funcionamiento del sistema.
- **Costo de mantenimiento:** Incluye los gastos en reparaciones, repuestos, mano de obra y contratos de mantenimiento.
- **Costo de calidad:** Relacionado con la garantía de la calidad del servicio, incluyendo mediciones, pruebas y certificaciones.
- **Costo de expansión:** Asociado a la ampliación o mejora del sistema, como la instalación de nuevas luminarias o la modernización de las existentes.
- **Costo de confiabilidad:** Incluye los costos asociados a la garantía de la continuidad del servicio, como sistemas de respaldo y mantenimiento preventivo.

Además, la proyección del consumo de energía eléctrica abarca la totalidad del alumbrado público, así como el registro completo del consumo de energía del alumbrado ornamental intervenido del último año, incluyendo los consumos de los elementos auxiliares. Donde la Unidad de Negocios Guayaquil tiene una proyección de 185.356.193 kW

Tabla 9: Proyección de consumo de energía para el SAPG - año 2024

EMPRESA	DISTRIBUIDORA / UNIDAD DE NEGOCIO	POTENCIA (kW)	ENERGÍA (kWh)
EMPRESAS ELÉCTRICAS - EE	AMBATO	25.229	105.746.896
	AZOGUES	3.046	13.342.999
	CENTRO SUR	30.728	133.727.944
	COTOPAXI	9.969	42.240.537
	NORTE	20.971	91.852.340
	QUITO	49.061	210.563.619
	RIOBAMBA	10.790	45.606.768
	SUR	11.075	48.509.246
	GALÁPAGOS	801	3.466.059
	SUB TOTAL - EE (1)	161.671	695.056.407
CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD - CNEL	UN - BOLÍVAR	4.300	20.616.848
	UN - EL ORO	21.905	96.307.887
	UN - ESMERALDAS	10.691	47.170.143
	UN - GUAYAQUIL	39.278	185.356.193
	UN - GUAYAS LOS RÍOS	25.609	112.162.314
	UN - LOS RÍOS	7.463	33.587.499
	UN - MANABÍ	29.676	152.996.252
	UN - MILAGRO	10.741	47.419.642
	UN - SANTA ELENA	7.457	33.746.154
	UN - SANTO DOMINGO	17.594	74.360.272
	UN - SUCUMBÍOS	8.264	36.900.019
	SUB TOTAL - CNEL (2)	182.980	840.623.224
NACIONAL	TOTAL (3) = (1) + (2)	344.651	1.535.679.632

Fuente: Dirección de Regulación Económica y Tarifas del Sector Eléctrico, DRETSE – ARC

Por consiguiente, tenemos la proyección del costo del servicio por concepto de alumbrado público en el Ecuador por cada Unidad de Negocios de la CNEL EP, en nuestro caso de estudio vemos que la Unidad de Negocios Guayaquil tiene un valor de 16,60 MMUSD

Tabla 10: Proyección de valores por concepto del SAPG 2024

EMPRESA	DISTRIBUIDORA / UNIDAD DE NEGOCIO	MMUSD			%
		COSTO TOTAL DEL SERVICIO	ESTIMACIÓN FACTURACIÓN SAPG	VARIACIÓN	VARIACIÓN
EMPRESAS ELÉCTRICAS - EE	AMBATO	8,93	7,34	-1,59	-21,72%
	AZOGUES	1,40	0,99	-0,41	-41,62%
	CENTRO SUR	12,14	10,21	-1,93	-18,95%
	COTOPAXI	4,28	3,99	-0,29	-7,27%
	NORTE	7,95	8,29	0,34	4,12%
	QUITO	21,53	19,69	-1,84	-9,37%
	RIOBAMBA	3,80	3,31	-0,49	-14,85%
	SUR	5,66	5,19	-0,47	-8,98%
	GALÁPAGOS	0,46	0,55	0,09	16,24%
	SUB TOTAL - EE (1)	66,15	59,55	-6,60	-11,09%
CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD - CNEL	UN - BOLÍVAR	2,30	1,47	-0,83	-56,43%
	UN - EL ORO	8,82	12,13	3,31	27,29%
	UN - ESMERALDAS	6,03	4,66	-1,37	-29,43%
	UN - GJAYAQUIL	16,60	18,86	2,27	12,02%
	UN - GUAYAS LOS RÍOS	12,25	20,84	8,59	41,20%
	UN - LOS RÍOS	3,38	3,49	0,10	2,99%
	UN - MANABÍ	14,66	10,90	-3,75	-34,40%
	UN - MILAGRO	4,97	5,71	0,74	12,91%
	UN - SANTA ELENA	4,37	6,18	1,81	29,27%
	UN - SANTO DOMINGO	7,88	8,88	1,00	11,25%
	UN - SUCUMBÍOS	3,14	4,19	1,04	24,94%
	SUB TOTAL - CNEL (2)	84,40	97,30	12,91	13,26%
	NACIONAL	TOTAL (3) = (1) + (2)	150,55	156,85	6,30

Fuente: Dirección de Regulación Económica y Tarifas del Sector Eléctrico, DRETSE – ARC

Dando como conclusión el valor de **\$0.09** el costo del kWh en el sistema de SAPG.

Tabla 11: Valor del kWh del SAPG

Año	2024
Ventas kWh	185,356,193
Costo Energía	\$ 16,600,000.00
Costo del kWh	\$ 0.090

Fuente: Propia

3.7.4 Determinación del costo de la mano de obra por instalación de luminaria y kit solar

La determinación del costo de la mano de obra por instalación de luminarias y kit solar es un aspecto crucial en la planificación y ejecución de proyectos de electrificación, especialmente en el contexto del memorando Nro. CNEL-CNEL-2022-0178-M (CNEL EP, 2022b) emitido el 1 de febrero de 2022. Este documento establece un marco para calcular los costos de materiales, mano de obra y transporte, siguiendo las directrices del procedimiento PR-TEC-CTR-100.

3.7.4.1 Estructura del Comité Técnico de Precios Unitarios

El memorando menciona que el Comité Técnico de Precios Unitarios, designado por la Gerencia General, es responsable de calcular y determinar los costos de los proyectos eléctricos. Este comité está conformado por representantes de diversas gerencias, como la de Planificación, Comercial y Distribución, lo que garantiza una evaluación integral y multidisciplinaria de los costos involucrados.

3.7.4.2 Importancia de los precios unitarios

Los precios unitarios referenciales son esenciales para la elaboración de presupuestos en proyectos de electrificación, como el Plan de Electrificación Rural 2022 y el Plan Maestro de Electricidad 2022-2031. Estos precios permiten a las Unidades de Negocio y la Oficina Central contar con información unificada y actualizada para la correcta planificación financiera de los proyectos.

3.7.4.3 Definición de costos finales por concepto de mano de obra

Los costos referenciales para la instalación de luminarias y kits solares se desglosan en varias categorías, que incluyen:

1. **Costo de equipo:** Este es el costo de los materiales necesarios para la instalación. Por ejemplo, para la instalación de luminarias de hasta 150W, el costo del equipo es de \$0.18 y para paneles solares junto con la batería es de \$0.15.
2. **Mano de obra:** Este es un componente significativo del costo total. Para la instalación de luminarias, el costo de la mano de obra es de \$12.14, mientras que, para la instalación de baterías de litio y paneles solares, es de \$8.97.

3. **Transporte:** Los costos de transporte también son relevantes y varían según la ubicación del proyecto. Por ejemplo, el costo de transporte para la instalación de luminarias es de \$5.87, y para los kits solares, es de \$15.87.
4. **Costos indirectos y utilidad:** Además de los costos directos, se deben considerar los costos indirectos (12%) y la utilidad (10%) para obtener el costo total del proyecto.

Tabla 12: Costos por mano de obra 2024

GRUPO	MONTAJE DE EQUIPOS - LUMINARIAS	MONTAJE DE EQUIPOS - LUMINARIAS
CÓDIGO	O-134	O-141
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD	INSTALACIÓN DE LUMINARIAS HASTA 150W	INSTALACIÓN DE BATERÍA DE LITIO, CON CARRO CANASTA - PANELES SOLARES
EQUIPO	\$ 0.18	\$ 0.15
M OBRA	\$ 12.14	\$ 8.97
TRANSPORTE	\$ 5.87	\$ 15.87
SUBTOTAL	\$ 18.19	\$ 24.99
COSTOS INDIRECTOS (12%)	\$ 2.18	\$ 3.00
UTILIDAD (10%)	\$ 1.82	\$ 2.50
COSTO TOTAL 2022	\$ 2.19	\$ 30.49
COSTO TOTAL 2023	\$ 22.47	\$ 30.88
COSTO TOTAL 2024	\$ 22.76	\$ 31.27
% Inflación 2022 - 2023		1,28

Fuente: Propia

Como resultado final, tenemos el costo de mano de obra por luminaria instalada con respecto al año 2024, considerando la inflación 1,28% detallada en el memorando antes mencionado:

Total: \$ 54,01 (incluye instalación de luminaria de 120W e instalación del kit solar)

3.7.5 Análisis de viabilidad económica del proyecto (Escenario 1)

En este primer escenario se procederá a realizar la evaluación del VALOR ACTUAL NETO (VAN) y la TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) con respecto al valor cotizado en el mercado ecuatoriano del kit solar en \$1600.

Tabla 13: Análisis de Viabilidad del proyecto (Escenario 1)

		FECHA:	2024-09-11
1.1 MATERIALES			144 000.00
1.2 MANO DE OBRA			4 862.70
1.3 ADMINISTRACIÓN, INGENIERÍA Y ESTUDIOS			7 443.14
1.4 VARIOS			.00
		SUBTOTAL	156 305.84
OTROS VALORES			.00
NOTA: I.V.A. del 15 % incluido en rubros Materiales y Mano de Obra		TOTAL USD	156 305.84

Fuente: Propia

1.1 Materiales: Representa el valor total por concepto de las luminarias LED y el kit fotovoltaico ($90 * \$1600 = \$144\,000$).

1.2 Mano de obra: Valor del año 2024 establecido en la tabla 12 ($90 * \$54.03 = \$4\,862.70$).

1.3 Administración, ingeniería y estudios: Se toma de referencia el 5%.

Total: \$ 156 305.84 (Incluye el 15% del IVA).

La mayor parte del presupuesto se destina a la adquisición de las luminarias LED y el kit fotovoltaico, con un costo total de \$144,000. Este monto refleja la inversión inicial necesaria para adquirir los equipos necesarios para generar y utilizar energía solar. Los costos de mano de obra se estiman en \$4,862.70, lo cual cubre las tareas de instalación, configuración y puesta en marcha del sistema. Se ha destinado un 5% del presupuesto total a cubrir los gastos asociados a la planificación, diseño y gestión del proyecto, incluyendo estudios de factibilidad y permisos. Es importante destacar que este presupuesto es una estimación y puede variar en función de factores como cambios en los precios de los materiales, imprevistos durante la instalación o ajustes en el alcance del proyecto.

Tabla 14: Análisis de los ingresos y costos (Escenario 1)

NOMBRE DEL PROYECTO		PUEBLO DE LA UNIDAD NACIONAL		36248: KH/MES_LUM=POTENCIA POR LUMINARIA*12(h)*30(días)				
FECHA DE ELABORACIÓN		10/09/2024						
RUBROS DE INVERSIÓN			DATOS RELEVANTES DEL PROYECTO					
MATERIALES Y EQUIPOS	144,000.00			POTENCIA DE LUMINARIA A. P. (KW)	0.25			
MANO DE OBRA	4,862.70			CONSUMO MENSUAL LUMINARIA (KWH/MES)	90.00			
COSTOS ADMINISTRATIVOS	7,443.14	NÚMERO DE LUMINARIAS	90	COSTO 2 =MANTENIMIENTO (% INVERSIÓN)	9%			
PRESUPUESTO TOTAL	156,305.84			PRECIO POR KWH ALUMBRADO PÚBLICO	0.09			
TASA DE DESCUENTO FINANCIERO	12%			COSTO 3 =ALUMBRADO PÚBLICO ANUAL (USD)	8,748			
TASA DE DESCUENTO ECONÓMICO	12%			*Equivalente al consumo de las 90 luminarias*				
INVERSIONES +C O S T O S (USD)			I N G R E S O S (USD)					
AÑOS	COSTO 1 INVERSIÓN [A]	COSTO 2 REPOSICIÓN Y MANTENIMIENTO [B]	TOTAL COSTOS [A+B]	INGRESO 3 REDUCCIÓN PÉRDIDAS TÉCNICAS [X]	OTROS INGRESOS REDUCCIÓN PÉRDIDAS COMERCIALES [Y]	AHORRO POR ENERGÍA A. PÚBLICO [Z]	TOTAL INGRESOS [X+Y+Z]	DIFERENCIA INGRESOS COSTOS
0	156,305.84		156,305.84	7,815.29	3,126.12	0.00	10,941.41	-145,364.43
1		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
2		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
3		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
4		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
5		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
6		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
7		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
8		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
9		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
10		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
11		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
12		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
13		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
14		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
15		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
16		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
17		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
18		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
19		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
20		14,067.53	14,067.53	7,815.29	3,126.12	8,748.00	19,689.41	5,621.88
VAN	156,306	105,077	261,382	66,191	26,476	65,343	158,010	-103,372
FACTIBILIDAD								
VALOR ACTUAL NETO (VAN)	-103,372	NO VIABLE		RESULTADO VAN	CONDICIÓN	RESULTADO B/C	CONDICIÓN	
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	-2.33%	NO VIABLE		≥0	VIABLE	≥1	BENEFICIOSO	
RELACIÓN BENEFICIO/COSTO A VALOR PRESENTE (B/C)	0.60	NO CUBRE COSTOS		<0	NO VIABLE	<1	NO CUBRE COSTO	
FACTOR DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL (FRC)		-0.88		=0	INDIFERENTE	=1	INDIFERENTE	
COSTO EQUIVALENTE ANUAL (CEA)		230,016.53						

Fuente: Propia

3.7.5.1 Análisis Escenario 1

El presupuesto total para el proyecto se estima en \$156,305.84, con una tasa de descuento del 12%, tanto financiera como económica, utilizada para calcular el valor presente de los flujos de efectivo futuros. Cada luminaria tiene una potencia de 0.250 kW y un consumo mensual de 90 kWh, lo que contribuye a un ahorro anual de \$8,748 en costos de energía al cambiar a tecnología LED. Sin embargo, los costos de mantenimiento y reposición durante 20 años se estiman en \$105,077, lo que eleva el costo total del proyecto a \$261,382. A pesar de los ingresos proyectados por reducción de pérdidas técnicas (\$66,191) y comerciales (\$26,476), así como

el ahorro por energía (\$65,343), el total de ingresos durante el mismo período es de \$158,010. Esto resulta en una diferencia de ingresos y costos de -\$103,372, lo que se traduce en un Valor Actual Neto (VAN) de -\$103,372, indicando que el proyecto no es viable. La Tasa Interna de Retorno (TIR) es de -2.33%, muy por debajo de la tasa de descuento, y la relación beneficio/costo es de 0.60, lo que significa que, por cada dólar invertido, solo se recuperan 60 centavos. Además, el Costo Equivalente Anual (CEA) se sitúa en \$230,016.53, un valor considerablemente alto en comparación con los ahorros anuales. En conclusión, el análisis sugiere que, bajo las condiciones actuales, la sustitución de luminarias de sodio por LED solar no es financieramente viable.

3.7.5.2 Resumen Escenario 1

Valor Actual Neto (VAN): -103,372 “NO VIABLE”

Tasa Interna de Retorno (TIR) -2.33% “NO VIABLE”

Relación beneficio/costo a valor presente (B/C) 0.60 “NO CUBRE COSTOS”

3.7.6 Análisis de viabilidad económica del proyecto (Escenario 2)

En este segundo escenario, se buscará determinar el precio óptimo de las luminarias LED y los kits solares que garantice la viabilidad financiera del proyecto a largo plazo, considerando las mismas variables anteriores. El objetivo es establecer un precio que permita recuperar la inversión inicial dentro de los primeros 20 años y generar beneficios sostenibles en el tiempo.

De acuerdo a las diversas simulaciones, quedó determinado como costo máximo viable de \$586, donde incluya la luminaria LED y el kit solar completo junto con los diversos valores asociados.

Tabla 15: Análisis de Viabilidad del proyecto (Escenario 2)

		FECHA:	2024-09-11
1.1 MATERIALES			52 740.00
1.2 MANO DE OBRA			4 862.70
1.3 ADMINISTRACIÓN, INGENIERÍA Y ESTUDIOS			2 880.14
1.4 VARIOS			.00
		SUBTOTAL	60 482.84
OTROS VALORES			.00
NOTA: I.V.A. del 15 % incluido en rubros Materiales y Mano de Obra		TOTAL USD	60 482.84

Fuente: Propia

1.1 Materiales: Representa el valor total por concepto de las luminarias LED y el kit fotovoltaico ($90 * \$586 = \$52\,740.00$).

1.2 Mano de obra: Valor del año 2024 establecido en la tabla 12 ($90 * \$54.03 = \$4\,862.70$).

1.3 Administración, ingeniería y estudios: Se toma de referencia el 5%.

Total: \$ 60 482.84 (Incluye el 15% del IVA).

En este análisis se presenta un escenario con un costo total estimado de \$60,482.84, incluyendo el 15% de IVA. Esta cifra representa la inversión necesaria para adquirir y poner en funcionamiento 90 luminarias LED y sus correspondientes kits solares. El costo unitario de cada luminaria y kit se ha establecido en \$586. Este valor total engloba los gastos asociados a los materiales, la mano de obra necesaria para la instalación y puesta en marcha del sistema, así como los costos administrativos y de ingeniería.

Es importante destacar que este presupuesto se ha calculado considerando un valor específico para la mano de obra, el cual ha sido establecido en \$54.03 por luminaria, de acuerdo con la tabla 12. Además, se ha destinado un 5% del presupuesto total para cubrir los gastos asociados a la administración, ingeniería y estudios previos al inicio del proyecto.

Tabla 16: Análisis de los ingresos y costos (Escenario 2)

NOMBRE DEL PROYECTO		PUENTE DE LA UNIDAD NACIONAL		36248:				
FECHA DE ELABORACIÓN		10/09/2024		KH/MES_LUM=POTENCIA POR LUMINARIA*12(m)*30(días)				
RUBROS DE INVERSIÓN			DATOS RELEVANTES DEL PROYECTO					
MATERIALES Y EQUIPOS	52,740.00			POTENCIA DE LUMINARIA A. P. (KW)	0.25			
MANO DE OBRA	4,862.70			CONSUMO MENSUAL LUMINARIA (KWH/MES)	90.00			
COSTOS ADMINISTRATIVOS	2,880.14	NÚMERO DE LUMINARIAS	90	COSTO 2 =MANTENIMIENTO (% INVERSION)	9%			
PRESUPUESTO TOTAL	60,482.84			PRECIO POR KWH ALUMBRADO PÚBLICO	0.09			
TASA DE DESCUENTO FINANCIERO	12%			AHORRO ALUMBRADO PÚBLICO ANUAL (USD)	8,748			
TASA DE DESCUENTO ECONOMICO	12%			"Equivalente al consumo de las 90 luminarias"				
					36248: Costo 3(annual)= =(KWH/MES_LU M)L9*12(meses) *(\$/KWH_lum)L1 1*(# lum_inicial)H9			
INVERSIONES +COSTOS (USD)				INGRESOS (USD)				
AÑOS	COSTO 1 INVERSION [A]	COSTO 2 REPOSICIÓN Y MAN- TENIMIENTO [B]	TOTAL COSTOS [A+B]	INGRESO REDUCCIÓN PÉRDIDAS TÉCNICAS [X]	OTROS INGRESOS REDUCCIÓN PÉRDIDAS COMERCIALES [Y]	AHORRO POR ENERGÍA A. PÚBLICO [Z]	TOTAL INGRESOS [X+Y+Z]	DIFERENCIA INGRESOS COSTOS
0	60,482.84		60,482.84	3,024.14	1,209.66	0.00	4,233.80	-56,249.04
1		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
2		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
3		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
4		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
5		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
6		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
7		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
8		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
9		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
10		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
11		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
12		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
13		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
14		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
15		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
16		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
17		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
18		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
19		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
20		5,443.46	5,443.46	3,024.14	1,209.66	8,748.00	12,981.80	7,538.34
VAN	60,483	40,660	101,142	25,613	10,245	65,343	101,201	58
FACTIBILIDAD								
VALOR ACTUAL NETO (VAN)			58	VIABLE		RESULTADO VAN		
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)			12.02%	VIABLE		CONDICIÓN		
RELACIÓN BENEFICIO/COSTO A VALOR PRESENTE (B/C)			1.00	BENEFICIOSO		RESULTADO B/C		
FACTOR DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL (FRC)				-0.88		CONDICIÓN		
COSTO EQUIVALENTE ANUAL (CEA)				89,005.33		RESULTADO		
						CONDICIÓN		
						INDIFERENTE		
						INDIFERENTE		

Fuente: Propia

Con un presupuesto total de \$60,482.84 y una tasa de descuento financiero y económico del 12%, muestra resultados más favorables en comparación con el análisis anterior.

Cada luminaria tiene una potencia de 0.250 kW y un consumo mensual de 90 kWh, lo que contribuye a un ahorro anual de \$8,748 en costos de energía al cambiar a tecnología LED. Los

costos de mantenimiento y reposición con un 9% anual y durante 20 años se estiman en \$40,660, lo que eleva el costo total del proyecto a \$101,142.

A pesar de los ingresos proyectados por reducción de pérdidas técnicas (\$25,613) y comerciales (\$10,245), así como el ahorro por energía (\$65,343), el total de ingresos durante el mismo período es de \$101,201, muy cercano a los costos totales.

Esto resulta en una diferencia de ingresos y costos de \$58, lo que se traduce en un Valor Actual Neto (VAN) de \$58, apenas por encima del punto de equilibrio. La Tasa Interna de Retorno (TIR) es de 12.02%, ligeramente por encima de la tasa de descuento, y la relación beneficio/costo es de 1.00, lo que significa que, por cada dólar invertido, se recupera un dólar. El Costo Equivalente Anual (CEA) se sitúa en \$89,005.33, un valor más bajo en comparación con el análisis anterior.

Por último, el análisis sugiere que, bajo estas condiciones, la sustitución de luminarias de sodio por LED solar es levemente viable desde el punto de vista financiero, con un retorno de la inversión muy cercano al punto de equilibrio. Pequeños cambios en los supuestos, como una reducción adicional en los costos de mantenimiento podrían mejorar significativamente la viabilidad del proyecto.

3.7.6.1 Resumen Escenario 2

Valor Actual Neto (VAN) 58 “VIABLE”

Tasa Interna De Retorno (TIR) 12.02% “VIABLE”

Relación beneficio/costo a valor presente (b/c) 1.00 “BENEFICIOSO”

3.7.7 Análisis de viabilidad económica del proyecto (Escenario 3)

En este escenario se hará el análisis económico en el supuesto caso de instalar solo luminarias LED sin el sistema fotovoltaico, es decir un sistema dependiente y alimentado de la red eléctrica, el único beneficio común sería disminuir el consumo energético de una lámpara sodio de 250W a una LED de 120W.

Para determinar el costo de las luminarias LED, se buscó procesos similares en el Servicio Nacional de Contratación Pública en Ecuador (SERCOP, s. f.) encontrando los siguientes resultados:

- Proceso código SIE-EERSA-2024-41 “Julio-2024”
- Objeto de Proceso: Adquisición de luminarias LED

Tabla 17: Cotizaciones luminarias LED 120W

Descripción del Proceso de Contratación luminaria LED 120W		
Entidad:	EMPRESA ELECTRICA RIOBAMBA S.A.	
Objeto de Proceso:	ADQUISICIÓN DE LUMINARIAS LED	
Código:	SIE-EERSA-2024-41	
Fecha:	jul-24	
Cotización 1	Schreder	\$ 530.00
Cotización 2	Marriott	\$ 400.00
Cotización 3	Sylvania	\$ 378.00
Cotización 4	Nova Lighting	\$ 190.00
Promedio		\$ 374.50

Fuente: Propia

Teniendo el costo de referencia promedio por luminaria LED (\$374.5), se continua con el análisis del escenario 3 simulando los datos iniciales:

Tabla 18: Análisis de Viabilidad del proyecto (Escenario 3)

		FECHA:	2024-09-11
1.1 MATERIALES			33 705.00
1.2 MANO DE OBRA			2 866.50
1.3 ADMINISTRACIÓN, INGENIERÍA Y ESTUDIOS			1 828.58
1.4 VARIOS			.00
SUBTOTAL			38 400.08
OTROS VALORES			.00
NOTA: I.V.A. del 15 % incluido en rubros Materiales y Mano de Obra		TOTAL USD	38 400.08

Fuente: Propia

En este escenario se presenta un costo total estimado de \$38,400.08, incluyendo el 15% de IVA. Este valor representa la inversión necesaria para adquirir y poner en funcionamiento 90 luminarias LED. La mayor parte del presupuesto se destina a la adquisición de las luminarias LED, con un costo total de \$33,705.00. Este monto refleja la inversión inicial necesaria para adquirir los equipos de iluminación.

Los costos de mano de obra se estiman en \$2,866.50, lo cual cubre las tareas de instalación de las luminarias. Es importante destacar que este valor se basa en un costo de \$31.85 por luminaria, de acuerdo al memorando Nro. CNEL-CNEL-2022-0178-M, donde se considera la instalación de luminarias de hasta 400W con el uso de un carro canasta. Se ha destinado un 5% del presupuesto total a cubrir los gastos asociados a la planificación, diseño y gestión del proyecto, incluyendo estudios de factibilidad y permisos.

Tabla 19: Análisis de los ingresos y costos (Escenario 3)

NOMBRE DEL PROYECTO		PUENTE DE LA UNIDAD NACIONAL		36248: KH/MES_LUM=POTENCIA POR LUMINARIA*12(h)*30(días)								
FECHA DE ELABORACIÓN		11/09/2024										
RUBROS DE INVERSIÓN			DATOS RELEVANTES DEL PROYECTO									
MATERIALES Y EQUIPOS	33,705.00			POTENCIA DE LUMINARIA A. P. (KW)	0.13							
MANO DE OBRA	2,866.50			CONSUMO MENSUAL LUMINARIA (KWH/MES)	46.80							
COSTOS ADMINISTRATIVOS	1,828.58	NÚMERO DE LUMINARIAS	90	COSTO 2 =MANTENIMIENTO (% INVERSION)	4.5%							
PRESUPUESTO TOTAL	38,400.08			PRECIO POR KWH ALUMBRADO PUBLICO	0.09							
TASA DE DESCUENTO FINANCIERO	12%			AHORRO ALUMBRADO PUBLICO ANUAL (USD)	4,549							
TASA DE DESCUENTO ECONOMICO	12%			*Equivalente al consumo de las 90 luminarias*								
INVERSIONES +COSTOS (USD)			INGRESOS (USD)									
AÑOS	COSTO 1 INVERSION [A]	COSTO 2 REPOSICIÓN Y MAN-TENIMIENTO [B]	TOTAL COSTOS [A+B]	INGRESO REDUCCIÓN PÉRDIDAS TÉCNICAS [X]	INGRESOS REDUCCIÓN PÉRDIDAS COMERCIALES [Y]	AHORRO POR ENERGÍA A. PÚBLICO [Z]	TOTAL INGRESOS [X+Y+Z]	DIFERENCIA INGRESOS COSTOS				
0	38,400.08		38,400.08			0.00	0.00	-38,400.08				
1		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
2		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
3		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
4		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
5		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
6		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
7		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
8		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
9		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
10		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
11		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
12		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
13		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
14		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
15		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
16		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
17		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
18		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
19		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
20		1,728.00	1,728.00			4,548.96	4,548.96	2,820.96				
VAN	38,400	12,907	51,307	0	0	33,978	33,978	-17,329				
FACTIBILIDAD												
VALOR ACTUAL NETO (VAN)			-17,329	NO VIABLE	RESULTADO VAN		>0	VIABLE	RESULTADO B/C		>1	BENEFICIOSO
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)			3.98%	NO VIABLE	CONDICIÓN		<0	NO VIABLE	CONDICIÓN		<1	NO CUBRE COSTO
RELACIÓN BENEFICIO/COSTO A VALOR PRESENTE (B/C)			0.66	NO CUBRE COSTOS	RESULTADO		=0	INDIFERENTE	CONDICIÓN		=1	INDIFERENTE
FACTOR DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL (FRC)				-0.88								
COSTO EQUIVALENTE ANUAL (CEA)				45,150.42								

Fuente: Propia

El análisis económico del escenario 3 para el reemplazo de luminarias de sodio de 250W por LED de 120W muestra varios aspectos significativos. El presupuesto total para el proyecto se estima en \$38,400.08, con una tasa de descuento del 12%, tanto financiera como económica, utilizada para evaluar los flujos de efectivo futuros.

Cada luminaria LED tiene un consumo mensual de 46.80 kWh, lo que se traduce en un ahorro anual de \$4,549 en costos de energía al cambiar de tecnología. Sin embargo, los costos de mantenimiento y reposición durante 20 años se estiman en \$12,907; cabe mencionar que en este escenario se consideró un 4.5% por temas de mantenimiento, ya que las luminarias tipo LED tiene mayor vida útil en sus componentes. Todo esto conlleva el costo total junto con la inversión inicial de \$51,307.

Los ingresos proyectados por reducción de pérdidas técnicas y comerciales serán \$0, ya que en este escenario el sistema de alumbrado sigue conectado a la red eléctrica. El ahorro por energía es (\$33,978), siendo el total de ingresos de \$33,978 durante 20 años. Esto resulta en una diferencia de ingresos y costos de -\$17,329, lo que se traduce en un Valor Actual Neto (VAN) de -\$17,329, indicando que el proyecto no es viable financieramente.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es de 3.98%, que se encuentra por debajo de la tasa de descuento, lo que refuerza la falta de viabilidad del proyecto. Además, la relación beneficio/costo es de 0.66, lo que significa que, por cada dólar invertido, se recuperan solo 66 centavos, indicando que los beneficios no cubren los costos. El Costo Equivalente Anual (CEA) se sitúa en \$45,150.42, un valor que también sugiere una carga financiera significativa.

En resumen, el análisis sugiere que, bajo las condiciones actuales, el reemplazo de luminarias de sodio por LED no es financieramente viable. Se necesitarían ajustes como disminuir el porcentaje de mantenimiento para ser viable.

3.7.7.1 Resumen Escenario 3

Valor Actual Neto (VAN): -17,329 “NO VIABLE”

Tasa Interna de Retorno (TIR) 3.98% “NO VIABLE”

Relación beneficio/costo a valor presente (B/C) 0.66 “NO CUBRE COSTOS”

3.7.8 Análisis de viabilidad económica del proyecto (Escenario 4)

En el cuarto y último escenario evaluado, se determinó que un precio unitario de \$235.5 para las luminarias LED es el valor óptimo para garantizar la viabilidad financiera del proyecto a lo largo de sus 20 años de vida útil. Este resultado se obtuvo mediante un análisis, considerando las mismas variables y supuestos utilizados en el escenario 3. Es decir, se mantuvo constante la evaluación de factores como los costos de instalación, mantenimiento, consumo energético, tasas de interés y otros elementos relevantes para la evaluación económica del proyecto. Al establecer este precio, se busca equilibrar los costos iniciales de inversión con los beneficios a largo plazo asociados a la eficiencia energética y la reducción de gastos operativos.

Tabla 20: Análisis de Viabilidad del proyecto (Escenario 4)

		FECHA:	2024-09-12
1.1 MATERIALES			21 195.00
1.2 MANO DE OBRA			2 866.50
1.3 ADMINISTRACIÓN, INGENIERÍA Y ESTUDIOS			1 203.08
1.4 VARIOS			.00
		SUBTOTAL	25 264.58
OTROS VALORES			.00
NOTA: I.V.A. del 15 % incluido en rubros Materiales y Mano de Obra		TOTAL USD	25 264.58

Fuente: Propia

El proyecto de implementación de luminarias LED presenta un costo total estimado de \$25,264.58, incluyendo el 15% de IVA. Este valor representa la inversión necesaria para adquirir y poner en funcionamiento 90 luminarias LED.

La mayor parte del presupuesto se destina a la adquisición de las luminarias LED, con un costo total de \$21,195.00. Este monto refleja la inversión inicial necesaria para adquirir los equipos de iluminación. Es importante destacar que el precio unitario de las luminarias LED se ha fijado en \$235, valor considerado óptimo para garantizar la viabilidad financiera del proyecto dentro de los primeros 20 años. Este precio se obtuvo a través de un análisis detallado que consideró diversos factores, como los costos de instalación, mantenimiento y consumo energético.

Los costos de mano de obra se estiman en \$2,866.50, lo cual cubre las tareas de instalación de las luminarias. Este valor se basa en un costo de \$31.85 por luminaria, considerando la instalación de luminarias de hasta 400W con el uso de un carro canasta.

Se ha destinado un 5% del presupuesto total a cubrir los gastos asociados a la planificación, diseño y gestión del proyecto, incluyendo estudios de factibilidad.

Tabla 21: Análisis de los ingresos y costos (Escenario 4)

RUBROS DE INVERSIÓN		DATOS RELEVANTES DEL PROYECTO						
MATERIALES Y EQUIPOS	21,195.00	POTENCIA DE LUMINARIA A. P. (KW)	0.13	36248: Costo 3(anual)= =(KWH/MES_LUM M)L9*12(meses) *(\$/KWH_lum)L1 1*(# lum_inicia)H9				
MANO DE OBRA	2,866.50	CONSUMO MENSUAL LUMINARIA (KWH/MES)	46.80					
COSTOS ADMINISTRATIVOS	1,203.08	COSTO 2 =MANTENIMIENTO (% INVERSION)	4.5%					
PRESUPUESTO TOTAL	25,264.58	PRECIO POR KWH ALUMBRADO PUBLICO	0.09					
TASA DE DESCUENTO FINANCIERO	12%	AHORRO ALUMBRADO PÚBLICO ANUAL (USD) "Equivalente al consumo de las 90 luminarias"	4,549					
TASA DE DESCUENTO ECONOMICO	12%							
		NUMERO DE LUMINARIAS	90					
INVERSIONES +COSTOS (USD)				INGRESOS (USD)				
AÑOS	COSTO 1 INVERSION [A]	COSTO 2 REPOSICIÓN Y MAN- TENIMIENTO [B]	TOTAL COSTOS [A+B]	INGRESO REDUCCIÓN PÉRDIDAS TÉCNICAS [X]	INGRESOS REDUCCIÓN PÉRDIDAS COMERCIALES [Y]	AHORRO POR ENERGÍA A. PÚBLICO [Z]	TOTAL INGRESOS [X+Y+Z]	DIFERENCIA INGRESOS COSTOS
0	25,264.58		25,264.58			0.00	0.00	-25,264.58
1		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
2		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
3		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
4		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
5		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
6		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
7		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
8		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
9		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
10		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
11		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
12		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
13		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
14		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
15		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
16		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
17		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
18		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
19		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
20		1,136.91	1,136.91			4,548.96	4,548.96	3,412.05
VAN	25,265	8,492	33,757	0	0	33,978	33,978	222
FACTIBILIDAD								
VALOR ACTUAL NETO (VAN)			222	VIABLE				
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)			12.14%	VIABLE				
RELACIÓN BENEFICIO/COSTO A VALOR PRESENTE (B/C)			1.01	BENEFICIOSO				
FACTOR DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL (FRC)				-0.88				
COSTO EQUIVALENTE ANUAL (CEA)				29,705.83				
RESULTADO VAN	CONDICIÓN	RESULTADO B/C	CONDICIÓN					
>0	VIABLE	>1	BENEFICIOSO					
<0	NO VIABLE	<1	NO CUBRE COSTO					
=0	INDIFERENTE	=1	INDIFERENTE					

Fuente: Propia

El análisis económico del escenario 4 para el reemplazo de luminarias de sodio de 250W por LED de 120W revela que se ha establecido un precio unitario óptimo de \$235 para las luminarias LED, lo que se considera crucial para garantizar la viabilidad financiera del proyecto a lo largo de su vida útil de 20 años.

Este análisis se llevó a cabo manteniendo constantes las variables y supuestos utilizados en el escenario 3, como costos de instalación, mantenimiento y consumo energético. El presupuesto total para el proyecto se estima en \$25,264.58, con una tasa de descuento del 12%, tanto financiera como económica. Cada luminaria tiene un consumo mensual de 46.80 kWh, lo que genera un ahorro anual de \$4,549 en costos de energía al realizar la sustitución. Los costos de mantenimiento y reposición durante 20 años se estiman en \$8,482, cabe mencionar que en este escenario se consideró un 4.5% por temas de mantenimiento, ya que las luminarias tipo LED tienen mayor vida útil en sus componentes, lo que lleva el costo total del proyecto a \$33,757.

Los ingresos proyectados por reducción de pérdidas técnicas y comerciales serán \$0, ya que como se mencionó anteriormente este sistema continúa dependiendo de la red eléctrica. Teniendo como único ingreso el ahorro por energía (\$33,978) durante 20 años. Esto resulta en una diferencia de ingresos y costos de \$222, lo que se traduce en un Valor Actual Neto (VAN) de \$222, indicando que el proyecto es viable.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es de 12.14%, que se encuentra ligeramente por encima de la tasa de descuento, lo que refuerza la viabilidad del proyecto. Además, la relación beneficio/costo es de 1.01, lo que significa que los beneficios son equivalentes a los costos, sugiriendo que el proyecto es beneficioso. El Costo Equivalente Anual (CEA) se sitúa en \$29,705.83, un valor que indica una carga financiera moderada en comparación con los ahorros anuales.

Este análisis sugiere que, bajo estas condiciones, el reemplazo de luminarias de sodio por LED es financieramente viable, gracias al establecimiento de un precio unitario adecuado para las luminarias LED. Esto permite equilibrar los costos iniciales de inversión con los beneficios a largo plazo asociados a la eficiencia energética y la reducción de gastos operativos.

3.7.8.1 *Resumen Escenario 4*

Valor Actual Neto (VAN) 222 “VIABLE”

Tasa Interna De Retorno (TIR) 12.14% “VIABLE”

Relación beneficio/costo a valor presente (b/c) 1.01 “BENEFICIOSO”

3.7.9 **Resumen final de los 4 escenarios**

Basado en el análisis de los cuatro escenarios presentados, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- **Escenario 1-Precio de mercado luminaria LED y kit fotovoltaico:** El costo inicial elevado de los equipos (\$1600) hizo que el proyecto resultara inviable en este escenario dentro de los 20 años de vida útil del proyecto.
- **Escenario 2-Precio óptimo de luminaria LED y kit fotovoltaico:** Al ajustar el precio de los equipos a un valor más competitivo (\$586), mejoró significativamente la viabilidad, aunque con un margen de beneficio muy estrecho de los 20 años.
- **Escenario 3-Solo luminarias LED:** La sustitución únicamente de las luminarias, sin incluir el sistema fotovoltaico con un valor de (\$374.5), no resultó rentable en los primeros 20 años debido a la dependencia de la red eléctrica y a los costos de energía.
- **Escenario 4-Precio óptimo para Luminarias LED:** Este escenario identificó el precio óptimo de las luminarias LED (\$235) que garantiza la viabilidad financiera del proyecto dentro de los 20 años de vida útil.

La sustitución de luminarias de sodio por LED solares en el Puente de la Unidad Nacional representa una inversión rentable a largo plazo, siempre y cuando se tomen las medidas necesarias para optimizar los costos y maximizar los beneficios. Este proyecto puede servir como modelo para la implementación de tecnologías de iluminación más eficientes en otras zonas urbanas.

3.8 Análisis de los componentes LED solar aplicados en la ciudad de Guayaquil

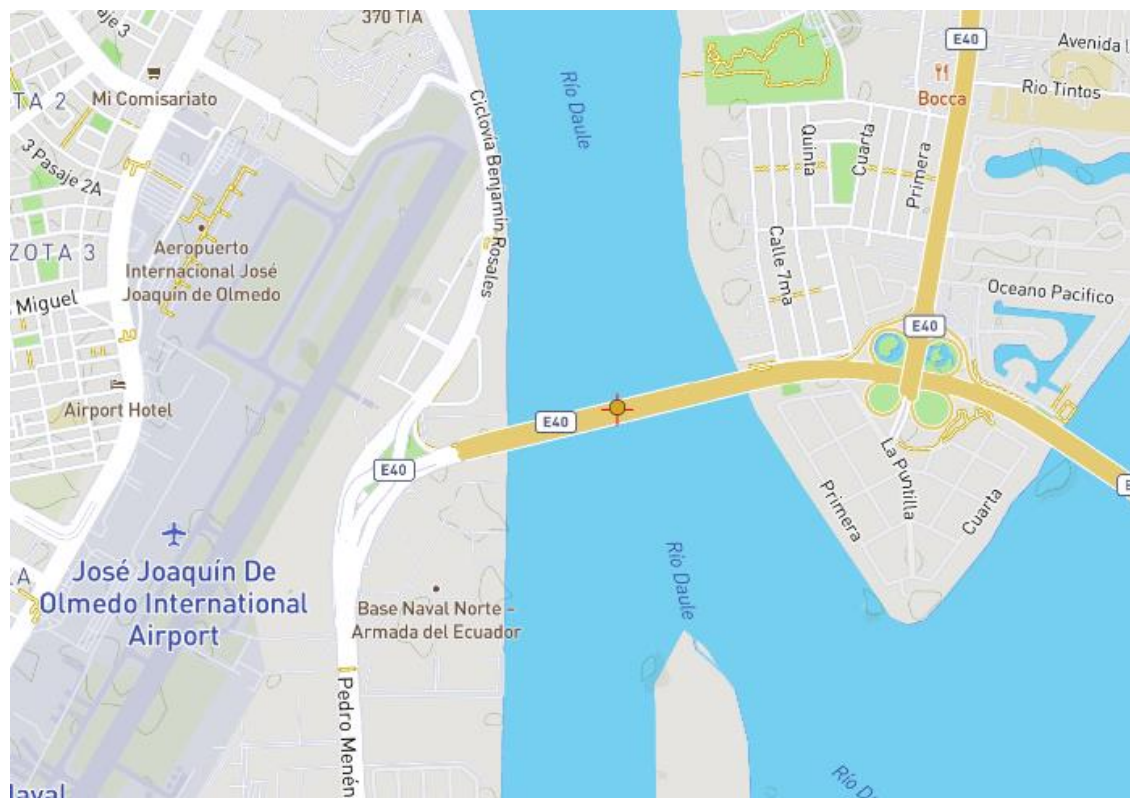
3.8.1 Base de datos meteorológicos Meteonorm

(Meteonorm (es), s. f.) es una herramienta esencial para obtener datos climáticos precisos, incluyendo la radiación solar, en cualquier punto del planeta. Al aplicar esta herramienta al Puente de la Unidad Nacional, podemos acceder a una base de datos detallada sobre la radiación solar global diaria. Los datos proporcionados por Meteonorm incluyen la radiación solar promedio diaria, los valores máximos y mínimos, la distribución horaria de la radiación y series históricas. Esta información detallada permite realizar análisis más precisos y tomar decisiones informadas en proyectos de ingeniería, arquitectura y energía.

La base de datos de radiación solar global diaria para el Puente de la Unidad Nacional, obtenida a través de Meteonorm, es una herramienta invaluable para comprender el comportamiento climático en esta ubicación y para diseñar soluciones sostenibles y eficientes.

- Base de datos radiación global diaria en Meteonorm

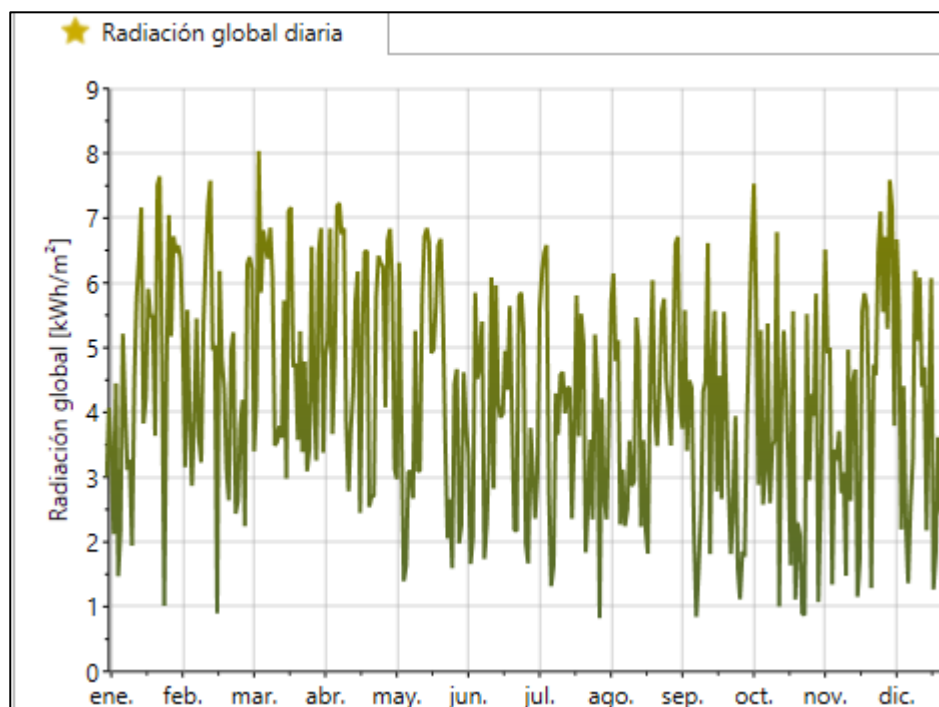
Figura 16: Sitio geográfico en Meteonorm



Fuente: Meteonorm

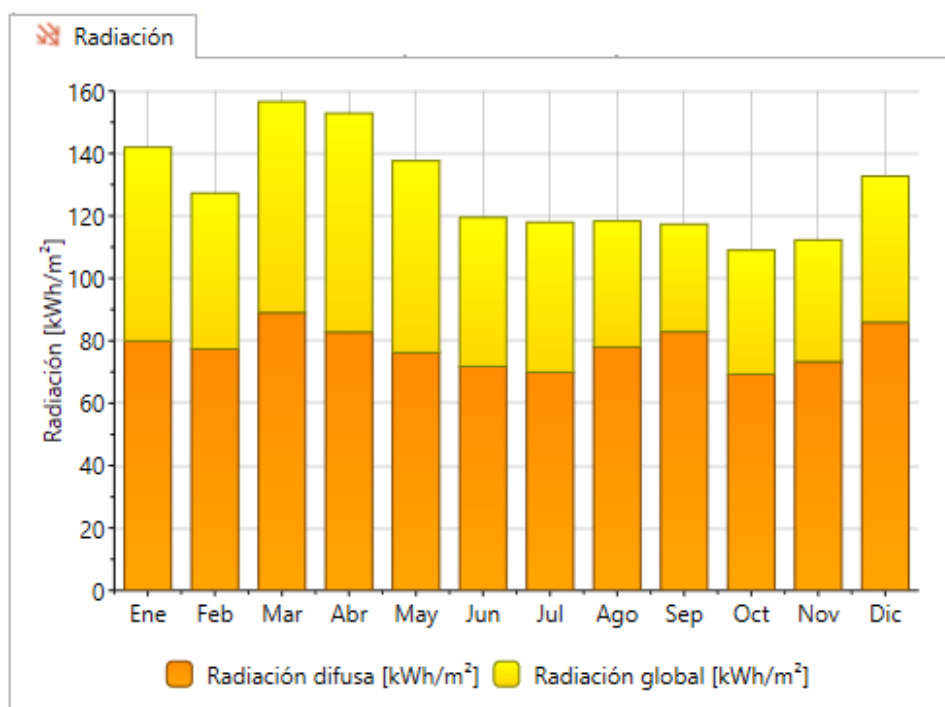
- Radiación global Meteonorm

Figura 17: Radiación global Meteonorm 2023



Fuente: Meteonorm

La gráfica ofrece una visión clara de la variación de la radiación solar global a lo largo del año 2023 en la ubicación donde se encuentra el Puente de la Unidad Nacional. Podemos observar un patrón estacional muy marcado, donde los valores más altos de radiación se concentran entre los meses de diciembre hasta abril, mientras que los promedios más bajos se registran en los meses entre junio y agosto. Esta variación estacional es un fenómeno natural directamente relacionado con la inclinación del eje terrestre y la posición del sol en el cielo. Es importante destacar que la radiación solar no solo varía a lo largo del año, sino también a lo largo del día. Los valores más altos de radiación solar se suelen registrar al mediodía solar, cuando el sol se encuentra en su punto más alto en el cielo. Se pueden observar picos altos en 8 kWh/m² y picos bajos alrededor de 1 kWh/m².

Figura 18: Radiación global y difusa

Fuente: Propia

Por otro lado, la figura 16 presenta un análisis detallado de la distribución de la radiación solar sobre el Puente de la Unidad Nacional a lo largo de un ciclo anual. En ella se descompone la radiación solar en dos componentes fundamentales: la radiación difusa y la radiación global.

La radiación difusa representa aquella porción de la energía solar que, al interactuar con la atmósfera terrestre, se dispersa en todas direcciones. Esta componente, a diferencia de la radiación directa, no proviene exclusivamente del disco solar, sino que llega a la superficie desde todos los puntos del cielo. La radiación global, por su parte, engloba tanto la radiación directa como la difusa, representando así la cantidad total de energía solar que incide sobre una superficie horizontal en un lugar y momento determinado.

Al analizar la gráfica, se observa un patrón estacional característico de las regiones templadas. Los meses de mayor insolación, corresponde mayormente a la temporada invernal, donde muestran los valores más altos de radiación global, mientras que los meses de verano en su mayor parte presentan los valores más bajos.

3.8.2 Base de datos meteorológicos PVGIS

(Sistema de información geográfica fotovoltaica (PVGIS) del Centro Común de Investigación (CCI) - Comisión Europea, s. f.) es una herramienta gratuita en línea desarrollada por la Comisión Europea que permite obtener información sobre la irradiación solar en cualquier lugar del mundo. PVGIS utiliza diferentes modelos para calcular la irradiación solar global (Gi), la irradiación directa (Gbi) y la irradiación difusa (Ddi) en planos inclinados.

Cabe mencionar que la plataforma PVGIS-NSRBD solo nos ofrece datos hasta el 2015 y de referencia solo toma un día de cada mes, con lo cual se sacó la irradiancia promedio mensual. La irradiación global (G(i)) es la cantidad total de radiación solar que llega a una superficie horizontal en un día, incluyendo la radiación directa y difusa. Es un parámetro fundamental para el diseño y la optimización de sistemas fotovoltaicos. A continuación, los datos obtenidos:

Tabla 22: Irradiación global mensual

	G(i): Irradiación global	
	Wh/m ² *día	kWh/m ² *día
Enero	4207.71	4.21
Febrero	4463.91	4.46
Marzo	4952.85	4.95
Abril	4681.97	4.68
Mayo	4181.45	4.18
Junio	3712.92	3.71
Julio	3841.09	3.84
Agosto	4358.11	4.36
Septiembre	4954.34	4.95
Octubre	4936.9	4.94
Noviembre	5333.63	5.33
Diciembre	5308.23	5.31

Fuente: PVGIS-NSRBD

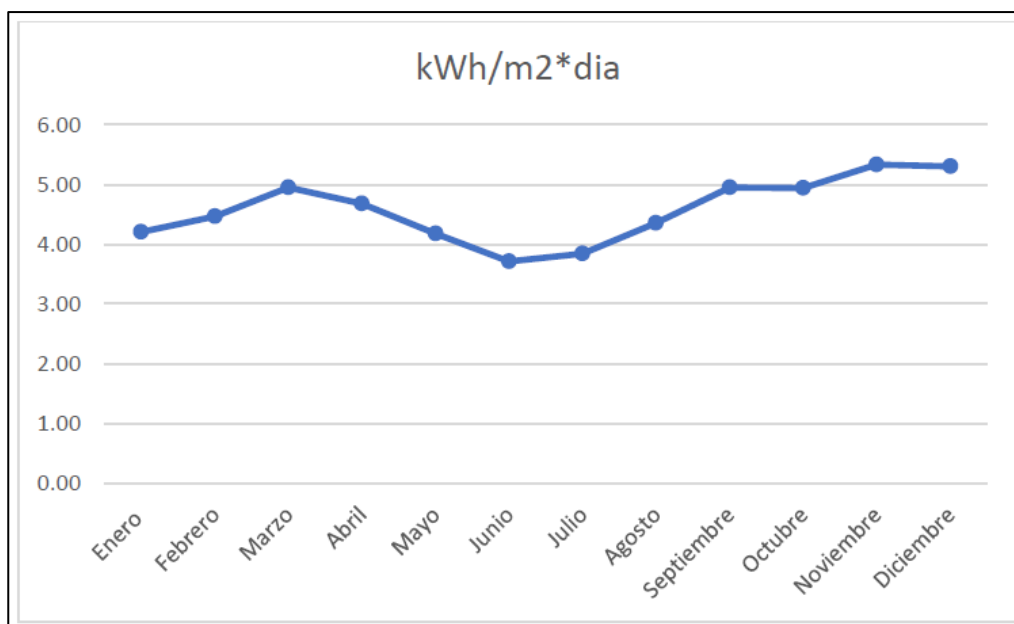


Figura 19: Irradiación global mensual
Fuente: PVGIS-NSRBD

- Los datos proporcionados muestran la irradiación global medida en kWh/m²/día para un día de cada mes.
- Se observa una variación estacional de la G(i), con valores máximos en los meses de noviembre y diciembre (superando los 5 kWh/m²/día) y valores mínimos en los meses de junio y julio (alrededor de 3.7 kWh/m²/día).

3.8.3 Radiación mensual definida

Para asegurar el funcionamiento óptimo del SAP tipo LED solar, es indispensable abordar las posibles consecuencias de una baja radiación solar en la alimentación eléctrica del sistema fotovoltaico. Teniendo en cuenta lo anterior, al examinar los datos de radiación, es necesario considerar que, si se utilizan los datos promedios anuales menos favorables, se puede asegurar un rendimiento superior en años con mayor recurso solar, a pesar de un excedente energético en los años más propicios. Mediante la información suministrada por el software de la NASA, se obtuvieron los promedios mensuales diarios de la radiación global incidente en la superficie horizontal durante un período seleccionado de siete años, a partir de una base de datos que abarca el período comprendido entre 2019 y 2023.

-BEGIN HEADER-

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual

Dates (month/day/year): 01/01/2019 through 12/31/2023

Location: Latitude -2.153673 Longitude -79.873041

Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 64.58 meters

The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999

Parameter(s):

ALLSKY_SFC_SW_DWN CERES SYN1deg Irradiación descendente de onda corta de toda la superficie del cielo(kW-hr/m²/day)

-END HEADER-

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	PROMEDIO
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2019	3.72	3.75	3.86	4.06	3.64	3.32	3.56	3.91	4.5	3.7	3.64	4.11	3.81
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2020	4.09	3.9	3.93	4.4	3.85	3.49	3.21	4.33	4.21	4.29	4.4	3.76	3.99
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2021	3.95	3.95	4.18	4.1	3.54	3.37	3.54	3.6	4.1	4.13	3.98	3.63	3.84
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2022	3.65	3.62	4.19	4.13	3.64	3.31	3.22	3.43	4.15	4.08	4.41	4.24	3.84
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2023	4.14	3.94	4.29	4.18	3.79	3.7	3.85	4.09	4.75	4.06	4.08	3.89	4.06

Tabla 23: Irradiación global 2019-2023

Fuente: NASA

Una vez recopilados los datos de los 5 últimos años se pudo observar el promedio del año más desfavorable que fue en el 2019 de 3.81 KWh/m²/día y el más alto fue en el 2023 con 4.06 KWh/m²/día

- Con toda esta información calculamos la HSP con la siguiente formula:

$$HSP = \frac{\text{Irradiacion Global}}{1000W/m^2}$$

- Teniendo como resultado la HSP del mes más desfavorable:

$$\frac{3810 Wh/m^2}{1000 W/m^2} = 3.81 HSP$$

3.8.4 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

3.8.4.1 Determinación de las necesidades del sitio.

Tabla 24: Necesidades del sitio

Dispositivo	Cantidad	Potencia (Watts) "P _i "	Horas "h _i "	Consumo (Wh/día)	Consumo (kWh/día)	Demanda Total Diaria en Amperios-hora (Ah/día)
LED 120W	1	120	12	1440.0	1.44	60.00
				Total Consumo (kWh/día)	1.44	
					1440.00	

MS:	0
Sistema (VDC):	24
Q. cons. (Ah/día)	60.00
N. usuario (Ah/día)	60.00

Fuente: Propia

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, donde la luminaria ideal tipo LED seleccionada es de 120W y que el tiempo de encendido será de 12 horas, se procedió a realizar los cálculos para establecer el consumo en kWh/día, con lo que se determinara como las necesidades del sitio.

Los datos obtenidos son los siguientes resultados:

- Energía consumida Q: 60 Ah/día.
- Total consumo E: 1.44 kWh/día.
- Necesidades del sitio: 60 Ah/día.

Considerando el consumo se determina el voltaje del sistema de 24VDC.

3.8.4.2 Determinación de las pérdidas totales del sistema

Mediante la siguiente formula se determina las pérdidas del sistema:

$$KT = [1 - (Kb + Kc + Kr + Kv)] * [1 - (Ka * D_{auton} / PD)]$$

Tabla 25: 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 (%)	30%
D	Días de autonomía	1
KT	Pérdida total sistema	0.88

Fuente: Propia

Los parámetros utilizados en el cálculo son:

- **Kb Pérdidas por batería:** Representan la eficiencia de almacenamiento de energía en las baterías, expresada como un porcentaje. En este caso, se considera un valor del 3%.
- **Ka Pérdidas por autodescarga:** Indican la pérdida de energía gradual de las baterías incluso cuando no están en uso, expresada como un porcentaje por día. En este análisis, se estima una pérdida diaria del 0.3%.
- **Kc Pérdidas por conversor:** Se refieren a la eficiencia de conversión de la corriente continua (CC) generada por el panel solar en corriente alterna (CA) utilizable por la luminaria. En este caso se considera un 5% de pérdida.
- **Kr Pérdidas por regulador:** Representan la eficiencia del regulador de carga, que controla el flujo de energía entre los paneles, las baterías y la carga. Se estima un 2% de pérdida en este componente.
- **Kv Pérdidas varias:** Agrupan otras pérdidas menores no contempladas en los parámetros anteriores, como la suciedad de los paneles, la resistencia de los cables, etc. Se estima un 1% para estas pérdidas.
- **PD Profundidad de descarga:** Indica el porcentaje de capacidad de las baterías que se utiliza durante el ciclo de descarga diario. En este análisis, se considera una profundidad de descarga del 30% según las recomendaciones del fabricante de la batería.

- **D Días de autonomía:** Representan el número de días que el sistema fotovoltaico puede proporcionar energía sin necesidad de recarga externa. En este caso, se estima una autonomía de 1 día, es decir 24 horas de funcionamiento (12 horas de iluminación por día).

Se define como pérdida total del sistema en K_T : 0.88

3.8.4.3 Carga energética máxima del sistema

La carga energética del sistema la obtenemos con la siguiente formula:

$$C_{max} \text{ (Ah/día)} = N_{usuario} / K_T$$

Tabla 26: Carga energética del sistema

N. usuario (Ah/día)	Necesidad del usuario	60.00
K_T	Pérdida total sistema	0.88
C max (Ah/día)	Carga energética máxima	68.10

Fuente: Propia

Obteniendo como resultado 68.10 Ah/día

1. Determinación de la energía solar disponible

HSP (día)	3.81	Se determina este valor de acuerdo a la base de datos de la NASA donde se tomó el promedio anual más desfavorable de los últimos 5 años.
-----------	------	--

En este procedimiento, se toma en cuenta la estimación de energía solar disponible para el sistema fotovoltaico durante el año más adverso, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- **HSP (día):** Horas de sol pico por día, en este caso se utiliza un valor de 3.81 horas, conseguido en la base de datos de la NASA para el promedio anual más desfavorable.
- **PP panel (Wp):** Potencia pico del panel solar, se considera una potencia pico de 450 Wp
- **N panel (%):** Rendimiento del panel solar, se estima un rendimiento del 95%, lo que significa que el panel genera el 95% de su potencia pico bajo condiciones ideales.

Mediante la siguiente formula calculamos:

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

Tabla 27: Energía solar disponible

PP panel (Wp)	Potencia pico panel	450
N panel (%)	Rendimiento del panel	0.95
E panel (Wh/día)	Energía del panel	1628.775

E panel (Wh/día)	1628.7
------------------	--------

Fuente: Propia

- **E panel (Wh/día):** Energía diaria generada por panel que es 1628.7 Wh/día

2. Dimensionamiento del campo de captación

Mediante la siguiente formula se podrá determinar la energía del entregada por el panel en Ah/día:

$$Q_{panel} (Ah/día) = E_{panel} (Wh/día) / V_{nom} CC$$

Tabla 28: Dimensionamiento del campo de captación

E panel (kWh/día)	Energía del panel	1628.775
V nom CC (VDC)	Voltaje nominal del panel	24
Q panel (Ah/día)	Energía del panel	67.86

Fuente: Propia

Por consiguiente, realizaremos los cálculos para determinar la cantidad de paneles en serie o en paralelo se requiere:

- **Número de ramas en paralelo:**

$$N_{ramas\ paralelo} = C_{max} / Q_{panel}$$

- **Número de módulos en serie:**

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

Tabla 29: Cantidad de paneles en serie o paralelo

C max (Ah/día)	Carga energética máxima	68.10	
Q panel (Ah/día)	Energía del panel	67.865625	
N ramas paralelo	# Ramas en paralelo	1.00	1.00
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

Fuente: Propia

Resultados obtenidos:

- **Energía del panel:** La energía diaria generada por cada panel solar, en este caso, es de 67.86 Wh/día o
- **Voltaje nominal del sistema:** El voltaje nominal del sistema de corriente continua (CC), que en este caso es de 24 V.
- **Carga energética máxima:** La demanda energética máxima del sistema, expresada en amperios hora (Ah/día), en este caso, es de 68.10 Ah/día.
- **Número de ramas en paralelo:** La cantidad de ramas o conjuntos de paneles conectados en paralelo, en este caso, es de **1 rama**.
- **Voltaje nominal del panel:** El voltaje nominal de cada panel solar, que en este caso también es de **24 V**.
- **Número de ramas en serie:** La cantidad de ramas o conjuntos de paneles conectados en serie, en este caso, es de 1 rama.

Se requiere solamente 1 panel solar para cubrir la demanda energética, tomando en cuenta la HSP promedio anual más baja de los últimos 5 años.

3.8.4.4 Dimensionado del sistema de acumulación

El dimensionamiento de un sistema de acumulación es un proceso crucial en la instalación de sistemas de energía solar.

Esto nos ayudará a determinar la capacidad óptima de la o las baterías para almacenar la energía solar generada y así poder garantizar un suministro eléctrico continuo.

Con la siguiente fórmula se realiza el cálculo para sacar la corriente en Ah del sistema de acumulación:

$$C_{\text{sistema acumulación}} = (C_{\text{max}} * D_{\text{aut}}) / PD$$

Tabla 30: Dimensionado del sistema de acumulación

C max (Ah/día)	Paneles totales del sistema	68.10
D	Días de autonomía	1
PD (%)	Profundidad de descarga	30%
C sistema acumulación (Ah)	Sistema acumulación	226.99

Fuente: Propia

- Es importante mencionar que en los días de autonomía se calcula 1 día; esta configuración garantiza una autonomía de 1 día (24 horas) y permite un funcionamiento de 2 días consecutivos con 12 horas de iluminación diaria. Además, en la profundidad de descarga se optó por usar el 30%. Dando como resultado 226.99 Ah.

Para determinar el número de baterías en paralelo se usará la siguiente fórmula:

$$N_{\text{baterías paralelo}} = C_{\text{sistema acumulación}} / C_{\text{nominal batería}}$$

Tabla 31: Dimensionado del sistema de acumulación para baterías en paralelo

C sistema acumulación (Ah)	Sistema acumulación	226.99	
C nominal batería (Ah)	Capacidad Ah batería	200	
N baterías paralelo	# de baterías en paralelo	1.13	1.00

Fuente: Propia

Fue importante determinar la capacidad de batería según el mercado ecuatoriano; en este caso se eligió una batería de 200 Ah.

La siguiente fórmula se usa en el diseño fotovoltaico para determinar cuántas baterías se deben conectar en serie para alcanzar la tensión deseada.

$$N_{\text{baterías serie}} = V_{\text{nom CC}} / V_{\text{nom batería}}$$

Tabla 32: Dimensionado del sistema de acumulación para baterías en serie

V nominal CC (VDC)	Voltaje nominal	12	
V nominal batería (VDC)	Voltaje nominal de la batería	12	
N baterías en serie	# de baterías en serie	1	1.00

Baterías totales	#bateria serie * # batería paralelo	1.00
------------------	-------------------------------------	------

Fuente: Propia

Al finalizar el cálculo del sistema de acumulación, tenemos los siguientes datos obtenidos:

- **Capacidad total del sistema de acumulación:** La capacidad total del sistema de almacenamiento, expresada en amperios hora (Ah), en este caso, es de 226.99 Ah.
- **Número de baterías en paralelo:** La cantidad de baterías o conjuntos de baterías conectadas en paralelo es de 1 unidad.
- **Voltaje nominal del sistema:** El voltaje nominal del sistema de corriente continua (CC), que en este caso es de 12 V.
- **Voltaje nominal de la batería:** El voltaje nominal de cada batería es de 12 V.
- **Número de baterías en serie:** La cantidad de en este caso es de 1 batería de 200Ah.

Como resultado final necesitamos una sola batería de 200 Ah.

3.8.4.5 Dimensionado del sistema de regulación

El dimensionamiento adecuado del sistema de regulación es fundamental para garantizar el correcto funcionamiento de una luminaria LED de 120W alimentada por un sistema fotovoltaico. Este sistema se encarga de controlar la carga y descarga de las baterías, protegiéndolas de sobrecargas y descargas profundas, y asegurando un suministro de energía estable a la luminaria. Para encontrar el regulador ideal se usará la siguiente fórmula teniendo en cuenta la intensidad de corto circuito del panel:

$$I_{\text{ent reg}} = 1.25 * I_{\text{sc panel}} * N_{\text{ramas paralelo}}$$

Tabla 33: Dimensionado del sistema de regulación

Isc panel (Isc/Amp)	Intensidad corto circuito del panel	11.60
N ramas paralelo	# Ramas en paralelo paneles solares	1.00
I reg (Amp)	Intensidad del regulador	14.45

Fuente: Propia

Obtenemos la intensidad del regulador 14.45 A.

Para este caso se toman de referencia las características técnicas de un regulador según el mercado ecuatoriano para el cálculo de número de elementos requeridos.

Con las siguientes fórmulas se calculará el número de reguladores en paralelo y en serie:

$$N_{reg_paralelo} = I_{reg} / I_{nom_reg}$$

Tabla 34: Dimensionado del sistema de regulación en paralelo

I reg (Amp)	Intensidad del regulador	14.45	
I nom_reg (Amp)	Intensidad nominal del regulador	20	
N reg_paralelo	# Reguladores en paralelo	0.73	1

Fuente: Propia

$$N_{reg_serie} = V_{sistDC} / V_{nom_reg}$$

Tabla 35: Dimensionado del sistema de regulación en serie

V nom CC (VDC)	Voltaje nominal del sistema	24	
V nom_reg	Voltaje nominal del regulador	24	
N reg_serie	# Reguladores en serie	1	1

Fuente: Propia

Resultados obtenidos:

- **Corriente de cortocircuito del panel:** La corriente máxima que puede generar un panel solar en condiciones de cortocircuito, en este caso, es de 11.60 A.
- **Número de ramas en paralelo:** La cantidad de ramas o conjuntos de paneles conectados en paralelo, en este caso, es de 0.73 unidades.
- **Corriente del regulador:** La corriente que el regulador de carga debe ser capaz de manejar, en este caso, es de 14.45 A.

- **Corriente nominal del regulador:** La corriente máxima para la que el regulador está diseñado, en este caso, es de 20 A.
- **Número de reguladores en paralelo:** La cantidad de reguladores de carga que se utilizarán en paralelo, en este caso, es de 1 unidad.
- **Voltaje nominal del sistema:** El voltaje nominal del sistema de corriente continua (CC), que en este caso es de 24 V.
- **Voltaje nominal del regulador:** El voltaje nominal del regulador de carga, en este caso, es de 24 V.
- **Número de reguladores en serie:** La cantidad de reguladores de carga que se utilizarán en serie, en este caso, es de 1 unidad.

Como resultado final se obtiene que es necesario solo 1 regulador, el cual cumple con las características técnicas necesarias para el diseño.

3.8.4.6 Resultados obtenidos del dimensionamiento del sistema fotovoltaico

- Se seleccionó un panel de 450 W, considerando las pérdidas inherentes al sistema para asegurar un funcionamiento óptimo.
- Se optó por una batería de 200 Ah con una profundidad de descarga del 30%. Esta configuración garantiza una autonomía de 1 día (24 horas) y permite un funcionamiento de 2 días consecutivos con 12 horas de iluminación diaria.
- Se incluyó un regulador de carga diseñado para garantizar el correcto funcionamiento de la luminaria LED de 120 W y de la batería.

Es importante resaltar que las características técnicas del kit LED solar se ajustan perfectamente a los parámetros establecidos en el dimensionamiento, garantizando un funcionamiento óptimo del sistema.

Conclusiones

- El estudio de viabilidad económica del primer escenario donde se analizó la sustitución de las luminarias de sodio por luminarias LED alimentadas por energía solar en el Puente de la Unidad Nacional indica que, bajo las condiciones actuales del mercado de \$1600, el kit LED solar no resulta viable debido a los altos costos iniciales de los elementos del sistema fotovoltaico, principalmente los paneles solares, baterías y controladores, además de los costos de reposición y mantenimiento. A pesar de los potenciales ahorros de energía eléctrica durante los 20 años, la inversión inicial requerida supera significativamente los beneficios económicos esperados durante la vida útil estimada del sistema.
- El segundo escenario donde se analiza la sustitución de luminarias de sodio por LED solar demuestra que es financieramente viable siempre y cuando el costo máximo sea de \$586 entre la luminaria y el kit solar, proyectando un ahorro significativo en costos de energía. El análisis muestra que el proyecto tiene un VAN positivo y una TIR adecuada dentro de los 20 años de vida útil del proyecto, lo que indica que la inversión se recupera. Sin embargo, optimizar los costos de mantenimiento podría mejorar aún más la rentabilidad del proyecto, haciendo que la transición a tecnología LED solar sea una opción atractiva para el SAP.
- El análisis del tercer escenario que abarca únicamente la sustitución de las luminarias de sodio por luminarias LED sin un sistema fotovoltaico demuestra que no es financieramente viable. A pesar de que el costo promedio por luminaria LED es de \$374.5, la inversión total requerida para el proyecto es considerable. Aunque se anticipa un ahorro en costos de energía, además de los gastos de mantenimiento y reposición, los cuales se estiman en un 4.5 % durante los primeros 20 años, superan los ingresos generados. Esto resulta en un VAN negativo. Además, la baja Tasa Interna de Retorno y la relación beneficio/costo inferior a uno evidencian que los beneficios no logran cubrir los costos asociados al proyecto.
- El cuarto y último análisis de costos revela que la sustitución únicamente de las luminarias de sodio por LED es financieramente viable al establecer un costo unitario de \$235 por luminaria junto con los valores por tema de mano de obra y estudios. Este precio permite

equilibrar la inversión inicial con los beneficios durante los 20 años asociados a la eficiencia energética y la reducción de gastos de mantenimiento. El proyecto presenta un ahorro significativo en costos de energía. El VAN y la Tasa Interna de Retorno superior a la tasa de descuento indican que los beneficios superan los costos, siendo este enfoque sostenible.

- Según los datos proporcionados por la NASA en los últimos 5 años, la ciudad de Guayaquil presenta una hora solar pico HSP promedio de 4, ligeramente menor en comparación con otras regiones de Ecuador que pueden alcanzar hasta 5 o 6 HSP. A pesar de esta diferencia, Guayaquil sigue contando con un excelente recurso solar que puede ser aprovechado para la generación de energía fotovoltaica. Un detallado análisis técnico permitió determinar la configuración óptima del sistema, seleccionando un kit fotovoltaico y una luminaria LED de 120W que se ajustan perfectamente a las condiciones locales y a los requerimientos energéticos del proyecto.

Recomendaciones

- Se recomienda llevar a cabo estudios similares en diferentes ciudades de Ecuador, utilizando diversos tipos de luminarias LED y características de sistemas fotovoltaicos. Esta investigación debería considerar factores como la irradiación solar, las horas de pico solar y las condiciones climáticas locales, ya que estos elementos influyen significativamente en la eficiencia y viabilidad de los sistemas de alumbrado público. Al replicar estos estudios, se pueden identificar las mejores prácticas y soluciones adaptadas a contextos específicos, lo que permitiría optimizar el uso de tecnología LED y energía solar en el alumbrado público.
- A pesar de que Guayaquil presenta una HSP promedio menor que otras regiones, se recomienda aprovechar su recurso solar para la generación de energía fotovoltaica. Se sugiere realizar un dimensionamiento adecuado del sistema de captación solar para maximizar la eficiencia y el rendimiento.
- Aunque el análisis económico para la sustitución de las luminarias de sodio por LED solar no fue viable debido a su inversión inicial, se recomienda considerar el impacto significativo de los robos de cables en el sistema de alumbrado público del Puente de la Unidad Nacional. Este problema no solo genera altos costos recurrentes por la reposición de materiales eléctricos, sino que también afecta la seguridad pública al dejar áreas sin iluminación adecuada. Por lo tanto, se sugiere evaluar el uso de sistemas de alumbrado solar que eliminen la dependencia de cables, reduciendo así el riesgo de robos y mejorando la seguridad en la zona.
- Dado el dinámico desarrollo de la tecnología fotovoltaica, se recomienda realizar estudios de viabilidad actualizados periódicamente. Los avances en eficiencia de los paneles solares, la reducción de costos de los componentes y el surgimiento de nuevas soluciones de almacenamiento podrían modificar significativamente la ecuación económica de los proyectos de alumbrado público solar en un futuro cercano.

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>

ARCERNNR. (s. f.). Recuperado 29 de agosto de 2024, de <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/04/Estadistica2021.pdf>

ARCERNNR. (2020a). *Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables | Ecuador—Guía Oficial de Trámites y Servicios*. <https://www.gob.ec/arcernnr>

ARCERNNR. (2020b). *ESTADÍSTICA ANUAL Y MULTIANUAL DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO*. <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/Estadistica-2020-baja.pdf>

Azín, D. N., Peña, A. A., Castro, R. D., Buestán, P. U., Alvear, J. J., Cevallos, F., Berthelemy, J.-P., Jara, J., Ortiz, J., Espinoza, P., Cajas, C., Parreño, L., Pesantez, L., Polo, V., Cobos, T., Karres, S., Pehl, P., Martínez, L., Botet, L., ... Miranda, F. J. (2024). *PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR*.

Bank World, W. (2022). *Off-Grid Solar Market Trends Report 2022: Outlook* [Text/HTML]. World Bank. <https://documentos.bancomundial.org/es/publication/documents-reports/documentdetail/099355110142233755/P17515005a7f550f1090130cf1b9f2b671e>

Barragán Murcia, C. C., Contreras Rondón, K. L., & Estévez Duarte, H. (2022). Proyecto de Eficiencia Energética, Modernización Alumbrado Público de Mosquera

Cundinamarca. *instname:Universidad Piloto de Colombia*.
<http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/11587>

BBVA. (s. f.). *Ventajas de las bombillas LED o de «bajo consumo» para ahorrar luz*. BBVA NOTICIAS. Recuperado 27 de agosto de 2024, de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/estas-son-las-ventajas-de-las-bombillas-led-o-de-bajo-consumo-para-ahorrar-luz/>

CENACE. (2024, agosto). *Operador Nacional de Electricidad CENACE – Página oficial del Operador Nacional de Electricidad CENACE*. <https://www.cenace.gob.ec/>

CNEL EP. (2022a, enero 13). *Noticias archivos—Página 63 de 169*. CNEL EP. <https://www.cnelep.gob.ec/category/noticias/page/63/>

CNEL EP. (2022b, febrero 1). *Memorando Nro. CNEL-CNEL-2022-0178-M*.

CNEL EP. (2023, febrero 2). *Intento de robo de cable en el Puente de La Unidad Nacional*. <https://www.cnelep.gob.ec/intento-de-robo-de-cable-en-el-puente-de-la-unidad-nacional/>

Comisión Internacional de Iluminación (CIE)—Consejo Científico Internacional. (s. f.). Recuperado 2 de septiembre de 2024, de <https://es.council.science/member/cie-commission-internationale-de-leclairage/>

COVIMED Solar. (2024, abril 15). *Alumbrado público: Qué es, tipos, beneficios y usos*. COVIMED. <https://www.covimed.net/es/blog/que-es-el-alumbrado-publico-y-para-que-sirve>

Crail, C. (2022, junio 29). *Everything You Need To Know About Solar Batteries*. Forbes Home. <https://www.forbes.com/home-improvement/solar/what-is-a-solar-battery/>

De León Osorio, L. M. (2023). *EVALUACIÓN TÉCNICA-FINANCIERA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SOLARES PARA ALUMBRADO PÚBLICO PARA*

EL ÁREA URBANA DE LA ZONA 9, MUNICIPIO DE MIXCO [Masters, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://postgrado.ingenieria.usac.edu.gt/>

Ecuavisa. (2023). *Esto es lo que se necesitará para arreglar el cableado del Puente de la Unidad Nacional*. <https://www.ecuavisa.com/noticias/guayaquil/cables-medidores-puente-unidad-nacional-GH5678383>

El Universo. (2023, mayo 22). *Puente de la Unidad Nacional sin energía eléctrica, señala CNEL*. <https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/robo-de-materiales-eletricos-deja-sin-alumbrado-en-puente-de-unidad-nacional-nota/>

Energía renovable y electricidad—Asociación Nuclear Mundial. (s. f.). Recuperado 22 de agosto de 2024, de <https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/renewable-energy-and-electricity>

ESPECIFICACIONES-TECNICAS-3.pdf. (s. f.). Recuperado 12 de agosto de 2024, de <https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/ESPECIFICACIONES-TECNICAS-3.pdf>

Fernández Jofré, A. P., & González Teodulo, S. I. A. (2020). *Estudio del uso de energía solar, a nivel doméstico en la comuna de Pica, región de Tarapacá*. <https://repositorio.uta.cl/xmlui/handle/20.500.14396/807>

Flores Fueres, G. A. (2016). *Factibilidad del sistema de alumbrado público empleando luminarias LED y alimentación solar fotovoltaica* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12213>

García-Tenorio, F., Simisterra-Quintero, J., Barre-Cedeño, K., Bautista-Sánchez, J., & Chere Quiñonez, B. (2022). Evaluación técnica, económica y ambiental del cambio del sistema de alumbrado público de la ciudadela Costa Verde-Esmeraldas a tecnología LED. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3, 245-260. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i7.538>

Genia Energy Solutions, G. (2021, agosto 17). ¿Cuál es la vida útil de una luminaria LED? *Genia Energy Solutions*. <https://geniaenergysolutions.com/vida-util-luminaria-led/>

icisneros. (2017, noviembre 13). Dispositivo antirrobo de cable en alumbrado público. *Universidad de La Rioja*. <https://www.unirioja.es/dispositivo-antirrobo-de-cable-en-alumbrado-publico/>

INF-DRETSE-2023-042_Costos-SAPG-2024. (s. f.). Recuperado 29 de agosto de 2024, de https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/INF-DRETSE-2023-042_Costos-SAPG-2024.pdf

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI. (2023). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI*. <https://www.inamhi.gob.ec/>

Introducción—Meteonorm (es). (s. f.). Recuperado 3 de septiembre de 2024, de <https://meteonorm.com/en/>

Ipen_mercury_booklet-es.pdf. (s. f.). Recuperado 16 de agosto de 2024, de https://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen_mercury_booklet-es.pdf

IRENA – International Renewable Energy Agency. (2024, agosto 5). <https://www.irena.org/>

Malpartida, A., & Fuentes, O. (2019). ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA EN PLAZAS Y PARQUES DEL PUERTO DE ILO. *REVISTA CIENCIA Y TECNOLOGÍA - Para el Desarrollo - UJCM*, 5, 123-134. <https://doi.org/10.37260/rctd.v5i1.192>

Medina Falconí, C. I. (2022). *Análisis de eficiencia energética mediante la implementación de tecnología Led en el servicio de alumbrado público de la CNEL EP Unidad de Negocio Bolívar*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8805>

MEMORIA-TECNICA-4.pdf. (s. f.). Recuperado 7 de agosto de 2024, de <https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/MEMORIA-TECNICA-4.pdf>

Ministerio de Defensa Nacional. (2024). *Ministerio de Defensa Nacional – Instancia político-administrativa del Gobierno de Ecuador encargada de dirigir la política de defensa y administrar las Fuerzas Armadas; armonizando las acciones entre las funciones del Estado y la institución militar.* <https://www.defensa.gob.ec/>

Ministerio de Energía y Minas – Ecuador. (2024). *Ministerio de Energía y Minas – Ecuador.* <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/>

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2020). *Ministerio de Transporte y Obras Públicas – Entidad rectora del Sistema Nacional del Transporte Multimodal que formula, implementa y evalúa políticas, regulaciones, planes, programas y proyectos que garantizan una red de Transporte seguro y competitivo, minimizando el impacto ambiental y contribuyendo al desarrollo social y económico del País.* <https://www.obraspublicas.gob.ec/>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2024). *5 de marzo, Día Mundial de la Eficiencia Energética – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.* <https://www.ambiente.gob.ec/5-de-marzo-dia-mundial-de-la-eficiencia-energetica/>

National Renewable Energy Laboratory (NREL) Home Page. (s. f.). Recuperado 13 de agosto de 2024, de <https://www.nrel.gov/index.html>

Nations United, U. (2022). *Energías renovables: Energías para un futuro más seguro* / Naciones Unidas. United Nations; United Nations. <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>

Ochoa, C. X. V. (2022, septiembre 20). *CNEL EP REPONE CABLEADO SUSTRÁIDO DEL PUENTE DE LA UNIDAD NACIONAL.* CNEL EP. <https://www.cnelep.gob.ec/cnel-ep-repone-cableado-sustraido-del-puente-de-la-unidad-nacional/>

Ochoa, C. X. V. (2024, marzo 4). *CNEL EP en coordinación con el MTOP, restableció la iluminación del complejo de puentes de la Unidad Nacional*. CNEL EP. <https://www.cnelep.gob.ec/cnel-ep-en-coordinacion-con-el-mtop-restablecio-la-iluminacion-del-complejo-de-puentes-de-la-unidad-nacional/>

Ortiz, D. J. B. (2023). *UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR*.

Parrales Pincay, M. A. (2020). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED MEDIANTE ENERGÍA SOLAR PARA LA RENOVACIÓN DEL ÁREA DEPORTIVA UNIVERSITARIA Y DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN Y REDES DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ* [bachelorThesis, Jipijapa.UNESUM]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2257>

Pinchao, J., & Silva, J. P., Orlando. (2022, junio 15). *Robo de cableado en el puente de la Unidad Nacional*. El Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/robo-cableado-alumbrado-puente-unidad-nacional.html>

Quiñonez, M. Q., Quiñonez, K. Y. S., Caicedo, M. R. I., & Bone, V. E. R. (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(4), Article 4. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i4.472>

Ricardo Borbor, A. A. (2019a). *Uso de la tecnología led para el alumbrado público y domiciliario de la Provincia de Santa Elena* [bachelorThesis, BABAHOYO: UTB, 2019]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/7197>

Ricardo Borbor, A. A. (2019b). *Uso de la tecnología led para el alumbrado público y domiciliario de la Provincia de Santa Elena* [bachelorThesis, BABAHOYO: UTB, 2019]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/7197>

Santander Ocles, F. S. (2020). *Estudio de factibilidad técnico-económico para el cambio de luminarias exteriores en el campus de la Universidad Técnica del Norte*

utilizando tecnología solar fotovoltaica [bachelorThesis].
<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10883>

SERCOP. (s. f.). *Búsqueda de Procesos de Contratación*. Recuperado 11 de septiembre de 2024, de <https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/buscarProceso.cpe?sg=1>

Sistema de información geográfica fotovoltaica (PVGIS) del Centro Común de Investigación (CCI)—Comisión Europea. (s. f.). Recuperado 3 de septiembre de 2024, de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

Solano Farias, K. M. (2022). Factibilidad de una empresa comercializadora de lámparas solares led en la ciudad de Guayaquil. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 20(9 (Julio-Septiembre)), 1.

Solar Energy Calculator and Mapping Tool—PVGIS. (s. f.). Recuperado 22 de agosto de 2024, de <https://pvgis.com>

Sylvania. (2024). Sylvania Ecuador. *LED solar*. <https://sylvania.com.ec/>

Thompson, M. (2024, marzo 18). *Alumbrado público con energía solar: Beneficios y desafíos*. Sigma Earth. <https://sigmaearth.com/es/Beneficios-y-desaf%C3%ADos-del-alumbrado-p%C3%BAblico-con-energ%C3%ADa-solar/>

United Nations. (2023). *El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible | Naciones Unidas*. United Nations; United Nations. <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>

World Energy – Analysis IEA. (2021). *World Energy – Analysis IEA*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>

Anexos

- Anexo 1 Data Sheet luminaria LED 120W
- Anexo 2 Data Sheet Panel solar
- Anexo 3 Data Sheet batería
- Anexo 4 Data Sheet controlador
- Anexo 5 Hoja de datos del análisis económico de los 4 escenarios
- Anexo 6 Hoja de datos del dimensionamiento técnico del sistema fotovoltaico
- Anexo 7 Cotizaciones
- Anexo 8 Hoja de datos costos por mano de obra para instalaciones respectivas
- Anexo 9 Memorando Nro. CNEL-CNEL-2022-0178-M “Precios Unitarios Referenciales de Distribución y Comercial 2022 – 2023”.
- Anexo 10 Fotos de materiales eléctricos afectados por robos en el sitio de estudio
- Anexo 11 Fotos de visita del sitio