

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

ESCUELA DE POSGRADO

**Maestría en Ciencias de Ingeniería Mecánica y Eléctrica con mención en
Energía**



Tesis

**Diseño de redes inteligentes para mejorar eficiencia del alumbrado
público en la ciudad de San Ignacio 2024**

para obtener el grado académico de:

**Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica y Eléctrica con mención en
Energía**

Autor:

Bach. Melber Chasquero Huachez

<https://orcid.org/0009-0009-8821-2246>

Asesor:

Msc. Ing. Jony Villalobos Cabrera

<https://orcid.org/0000-0003-3643-5498>

Lambayeque, Perú

2026

Diseño de redes inteligentes para mejorar eficiencia del alumbrado público en la ciudad de San Ignacio 2024



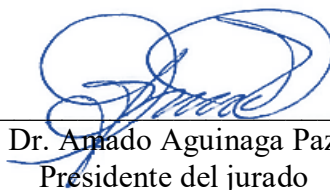
Bach. Melber Chasquero Huachez
Autor



Mg.Ing. Jony Villalobos Cabrera
Asesor

Tesis presentada para optar el grado académico de:
Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica y Eléctrica con mención en Energía

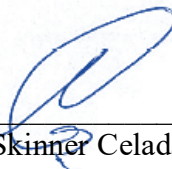
Aprobado por:



Dr. Arnado Aguinaga Paz
Presidente del jurado



Mg. Egberto Serafin Gutierrez Atoche
Secretario del jurado



Dr. James Skinner Celada Padilla
Vocal del jurado

Lambayeque, Perú
2026

Acta de Sustentación de Tesis

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

099

Siendo las 12:00 horas del día 25 de Mayo del año Dos Mil
2026

en la Sala de Sustentación de la Escuela de Posgrado de la
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, se reunieron los miembros del Jurado,
designados mediante Resolución N° 385-2024-UP de fecha 31/5/2024 conformado por:

Dr. Amado Aguirre Paz	PRESIDENTE (A)
Mg. Egoito Soriano Gutierrez Arache	SECRETARIO (A)
Dr. James Skimo Celado Padilla	VOCAL
Mg. Jonny Villalobos Cabana	ASESOR (A)

Con la finalidad de evaluar la tesis titulada

Diseño de Redes Inteligentes Para Mejorar el Consumo
del Alimento Público en la Ciudad de San Ignacio

presentado por el (la) Tesisista Melber Chosqueno Huacheta

sustentación que es autorizada mediante Resolución N° 243-2026 de fecha 20/5/2026

El Presidente del jurado autorizó del acto académico y después de la sustentación, los señores
miembros del jurado formularon las observaciones y preguntas correspondientes, las mismas que
fueron absueltas por el (la) sustentante, quien obtuvo 16 puntos que equivale al
calificativo de Bueno.

En consecuencia el (la) sustentante queda apto (a) para obtener el Grado Académico de:

Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica
con Mención en Energía

Siendo las 13:00 horas del mismo día, se da por concluido el acto académico, firmando la
presente acta.


PRESIDENTE
Dr. Amado Aguirre Paz


VOCAL
J. Celado Padilla


SECRETARIO
Mg. Egoito Soriano Gutierrez Arache

ASESOR

CONSTANCIA DE VERIFICACION DE ORIGINALIDAD

Yo, Mg. Ing. Jony Villalobos Cabrera, usuario revisor de Tesis [x]

Trabajo de Suficiencia Profesional [] y/o Trabajo Académico []

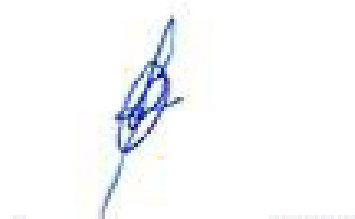
Titulado: "Diseño de redes inteligentes para mejorar eficiencia del alumbrado público en la ciudad de San Ignacio 2024"

Cuyo autor es : Ing. Melber Chasquero Huachez , con DNI N° 43295897; declaro que la evaluación realizada por el Programa Informático, ha arrojado un porcentaje de similitud **11 %**, verificables en el Resumen del Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito (a) analizó reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 07 de marzo del 2025



Firma (Asesor)

Nombres y Apellidos: M. Sc. Ing. Villalobos Cabrera, Jony

DNI: 16699530

Defina la modalidad con (X)

Adjunta:

Resumen de Reporte automatizado de similitudes

Recibo digital

Reporte de informe de similitud

DISEÑO DE REDES INTELIGENTES PARA MEJORAR EFICIENCIA DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE SAN IGNACIO 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %	10 %	5 %	3 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2 %
2	repositorio.uct.edu.pe Fuente de Internet	1 %
3	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	repository.unipiloto.edu.co Fuente de Internet	<1 %
5	runas.religacion.com Fuente de Internet	<1 %
6	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
7	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
8	www.youtube.com Fuente de Internet	<1 %


 M. Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA
 DNI 16899530
 Docente Asociado
 Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
 Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

Recibo digital



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: **Melber Chasquero Huachez**
 Título del ejercicio: **Quick Submit**
 Título de la entrega: **DISEÑO DE REDES INTELIGENTES PARA MEJORAR EFICIENCIA D...**
 Nombre del archivo: **tesis_de_melber_26_02_2026_1.docx**
 Tamaño del archivo: **2.75M**
 Total páginas: **97**
 Total de palabras: **20,196**
 Total de caracteres: **121,058**
 Fecha de entrega: **02-mar-2026 12:07p.m. (UTC-0500)**
 Identificador de la entrega: **2892493818**

 UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO" ESCUELA DE POSTGRADO MAESTRIA EN INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA CON MENCIÓN EN ENERGIA	
"DISEÑO DE REDES INTELIGENTES PARA MEJORAR EFICIENCIA DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE SAN ISIDRO 2024"	
TESIS	
PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA ELECTRICA CON MENCIÓN EN ENERGIA	
AUTOR: Ing. Melber Chasquero Huachez	
ASESOR: Mg. Ing. Jony Villalobos Cabrera	
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Energía y medio ambiente, tecnologías limpias, mitigación de impactos.	
LABORATORIO - PERÚ 2026	
	
M. Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA CNI 16699530 Docente Asociado Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se la dedico A
Dios, por darme la vida y ser mi guía;

A mi familia, por su apoyo constante y consejos
de superación para alcanzar mi desarrollo tanto
personal como profesional.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo de investigación se la dedico A
Dios, por darme la vida y ser mi guía;

A mi familia, por su apoyo constante y consejos
de superación para alcanzar mi desarrollo tanto
personal como profesional.

ÍNDICE GENERAL

Carátula.....	i
Acta de Sustentación de Tesis.....	iii
Constancia de verificación de originalidad	iv
Reporte de informe de similitud.....	v
Recibo digital.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
INFORMACIÓN GENERAL	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. DISEÑO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes	9
2.2. Bases teóricas	13
2.3. Bases Conceptuales.....	15
2.4. Bases Conceptuales (Operacionalización o categorización de variables)	23
III. DISEÑO METODOLOGICO.....	27
3.1. Diseño de Contrastación de Hipótesis / Procedimiento a Seguir en la Investigación	27
3.2. Población y Muestra	29
3.3. Técnicas, Instrumentos, Equipos, Materiales.....	30
IV. RESULTADOS	33
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	73

VI. CONCLUSIONES	77
VII. RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS	80
ANEXOS	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de Alumbrado Público.....	20
Figura 2: Controlador LED regulable DALI / DALI-2 / 1-10V para luces LED.....	33
Figura 3: Ejecución del programa en el ESP32.....	37
Figura 4: Ejecución del programa en el ESP32 en encendido y apagado.....	37
Figura 5: Ejecución del programa en el ESP32 operando.....	38
Figura 6: Información de Excel en Ruta, fila y fecha	40
Figura 7: Recibe los datos este convierte el tiempo que recibe del ESP32 por http cliente	41
Figura 8: Simulación en maqueta del control para iluminación.....	41
Figura 9: Simulación en maqueta del control para iluminación tomada desde otro ángulo.....	42
Figura 10: Diagrama de Potencia.....	43
Figura 11: Pistas de la PCB.....	43
Figura 12: Visión 3d.....	44
Figura 13: Plano de ubicación y distribución de la red de alumbrado público existente en el área urbana de San Ignacio, 2024.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación del consumo energético anual.....	48
Tabla 2 Comparación de potencia instalada.....	48
Tabla 3 Comparación del tiempo efectivo de operación.....	49
Tabla 4 Comparativo general de costos.....	49
Tabla 5 Estado de la infraestructura del sistema de alumbrado público en la ciudad de San Ignacio.....	50
Tabla 6 Condiciones de operación del sistema de alumbrado público en la ciudad de San Ignacio.....	51
Tabla 7 Estado de la infraestructura del sistema de alumbrado público en la ciudad de San Ignacio.....	54
Tabla 8 Condiciones de operación del sistema de alumbrado público en la ciudad de San Ignacio.....	55
Tabla 9 Consumo energético del sistema de alumbrado público en la ciudad de San Ignacio.....	52
Tabla 10 Evaluación técnica de tecnologías de redes inteligentes aplicables al sistema de alumbrado público de la ciudad de San Ignacio.....	53

INFORMACIÓN GENERAL

- Título: Diseño de redes inteligentes para mejorar eficiencia del alumbrado público en la ciudad de San Ignacio 2024
- Autor: Bach. Melber Chasquero Huachez
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8821-2246>
- Asesor de especialidad y metodológico:
Mg. Ing. Jony Villalobos Cabrera
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3643-5498>
- Línea de investigación:
Energía y medio ambiente: Tecnologías limpias y mitigación de impactos.
- Lugar:
Ciudad de San Ignacio, provincia de San Ignacio, región Cajamarca – Perú.

RESUMEN

La presente investigación se enmarca en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7, específicamente en la meta 7.3, orientada a mejorar la eficiencia energética mediante la incorporación de tecnologías limpias y sistemas inteligentes. En este contexto, el estudio tuvo como objetivo general diseñar redes inteligentes para mejorar la eficiencia del alumbrado público en la ciudad de San Ignacio durante el año 2024, proponiendo una solución técnica basada en la integración de tecnología LED, sensores de presencia y luminosidad, microcontroladores ESP32 y sistemas de monitoreo remoto, con el fin de optimizar el consumo energético y la operatividad del servicio. Metodológicamente, la investigación fue de tipo aplicada, con diseño no experimental y enfoque cuantitativo con apoyo cualitativo. Se realizó un diagnóstico técnico del sistema existente, evaluando infraestructura, consumo energético, niveles de iluminación y mantenimiento. Asimismo, se diseñó y simuló un modelo de red inteligente, validando su funcionamiento mediante pruebas operativas y análisis comparativos de eficiencia energética. Los resultados evidenciaron que el sistema actual presenta predominio de luminarias convencionales de vapor de sodio, alto consumo energético y limitaciones en control y monitoreo. La propuesta inteligente permitió optimizar el encendido y regulación lumínica mediante control adaptativo y registro de datos en tiempo real, demostrando viabilidad técnica y potencial de ahorro energético significativo. Se concluye que el diseño de redes inteligentes constituye una alternativa técnica, económica y ambientalmente viable para modernizar el alumbrado público de San Ignacio, mejorar su eficiencia energética y contribuir al desarrollo urbano sostenible.

Palabras Claves: Redes inteligentes, eficiencia energética, alumbrado público.

ABSTRACT

This research falls under Sustainable Development Goal 7, specifically target 7.3, which aims to improve energy efficiency through the incorporation of clean technologies and smart systems. In this context, the overall objective of the study was to design smart networks to improve the efficiency of public lighting in the city of San Ignacio during 2024, proposing a technical solution based on the integration of LED technology, presence and light sensors, ESP32 microcontrollers, and remote monitoring systems, in order to optimize energy consumption and service operability. Methodologically, the research was applied, with a non-experimental design and a quantitative approach supported by qualitative data. A technical diagnosis of the existing system was carried out, evaluating infrastructure, energy consumption, lighting levels, and maintenance. Likewise, a smart grid model was designed and simulated, validating its operation through operational tests and comparative energy efficiency analyses. The results showed that the current system is dominated by conventional sodium vapor lights, high energy consumption, and limitations in control and monitoring. The smart proposal optimized lighting and regulation through adaptive control and real-time data recording, demonstrating technical feasibility and significant energy savings potential. It was concluded that the design of smart networks is a technically, economically, and environmentally viable alternative for modernizing public lighting in San Ignacio, improving its energy efficiency, and contributing to sustainable urban development.

Keywords: Smart grids, energy efficiency, street lighting.

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se orienta de manera directa al Objetivo de Desarrollo Sostenible N°7: Energía asequible y no contaminante, particularmente a la meta 7.3, que busca “duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética para el año 2030”. En este sentido, el estudio sobre el diseño de redes inteligentes para mejorar la eficiencia del alumbrado público en la ciudad de San Ignacio se convierte en una propuesta técnica y ambientalmente sostenible que responde a esta meta global. La investigación promueve el uso racional de la energía eléctrica mediante la incorporación de tecnologías inteligentes, sensores y sistemas automatizados que permiten regular la intensidad lumínica según la demanda real, evitando el desperdicio energético. Asimismo, impulsa la sustitución de luminarias tradicionales por tecnología LED de bajo consumo, contribuyendo a la reducción de las emisiones de CO₂ y al ahorro económico municipal. Al optimizar la infraestructura del alumbrado público, la investigación no solo mejora la calidad del servicio y la seguridad ciudadana, sino que también fomenta una cultura de eficiencia y sostenibilidad energética. En suma, esta investigación constituye un aporte tangible al cumplimiento de la meta 7.3, orientado a San Ignacio hacia un modelo de gestión energética moderna, responsable y respetuosa con el medio ambiente.

De acuerdo a la **realidad problemática** internacional tenemos:

En Roma, Italia, se examinó el uso ineficiente de energía en el alumbrado público urbano. Se implementó un sistema adaptativo con sensores de luz y tráfico, que reguló automáticamente la intensidad según condiciones ambientales, disminuyendo el consumo en 45%. El estudio resalta el aporte de la automatización en la sostenibilidad energética urbana (Gagliardi et al.,2021).

En Moscú, Rusia, se enfrentó la falta de eficiencia en el monitoreo de luminarias convencionales. Se desarrolló una red de sensores inalámbricos (WSN) con comunicación 802.15.4 para recopilar datos en tiempos real, reduciendo los costos operativos en 32% y mejorando la detección de fallas. El estudio confirma la utilidad de redes inteligentes en sistemas urbanos (Burtsev et al.,2021).

En Shenzhen, China, se estudió el problema del consumo energético elevado por horarios fijos de alumbrado. Se diseñó un modelo de control predictivo (MPC) que ajusta la potencia lumínica según condiciones ambientales, reduciendo la energía en 42% y mejorando la uniformidad de iluminación. El modelo demostró la eficiencia de las redes inteligentes urbanas (Shaheen et al., 2025).

En Lahore, Pakistán, se identificó el desperdicio energético por encendido uniforme de luminarias. Se aplicó DeepLearning para controlar la intensidad lumínica según el flujo vehicular y peatonal, logrando una reducción del 38% del consumo. El sistema adaptativo demostró la viabilidad de la inteligencia artificial en la gestión energética de alumbrado público (Asif et al. ,2022).

En Dhaka, Bangladés, se abordó el alto consumo eléctrico por falta de automatización en el alumbrado público. Se diseñó un sistema IoT con microcontroladores y sensores de movimiento, que ajustó la iluminación según la presencia de personas o vehículos, reduciendo el consumo en 40%. El estudio evidencia que la digitalización mejora la eficiencia y gestión energética urbana (Kabir et al., 2023).

En Quito, Ecuador, se analizó la ineficiencia del alumbrado público y la contaminación lumínica en áreas urbanas. Se implementaron redes inteligentes con sensores IoT y luminarias LED, logrando reducir el consumo eléctrico en 35% y optimizar el mantenimiento mediante monitoreo remoto. El estudio demuestra la eficacia de la tecnología inteligente en la sostenibilidad urbana (Velásquez et al., 2024).

A nivel nacional tenemos:

En Cusco, Perú, se desarrolló un sistema de supervisión de alumbrado público basado en IoT y modelos de ciudad inteligente, frente a deficiencias en el control manual y consumo excesivo de energía. El proyecto integró sensores, comunicación inalámbrica y software de monitoreo, optimizando la eficiencia lumínica y el mantenimiento predictivo del sistema (Cabrea,2024).

En Puno, Perú, propuso un sistema de supervisión automatizado para el alumbrado público urbano, respondiendo al alto gasto energético y fallas no detectadas oportunamente. Su diseño empleó sensores y controladores electrónicos, logrando una reducción del 30 % en el consumo eléctrico y mejorando la continuidad del servicio en zonas críticas (Jihuallanca,2023).

En Huancayo, Perú, abordó la ineficiencia energética y el deterioro del alumbrado público. Se implementaron luminarias LED con sistemas de control automatizado, generando ahorros superiores al 40 % y una mejora significativa en la calidad lumínica. El proyecto demuestra la rentabilidad y sostenibilidad del uso de tecnología LED en zonas urbanas (Vilchez,2024).

Mismo entorno, una investigación sobre la deficiente iluminación en el centro urbano, planteando la instalación de lámparas LED como alternativa sostenible. El reemplazo

tecnológico redujo el consumo eléctrico en un 38% y mejoró la seguridad vial y peatonal. El proyecto evidenció el impacto directo de la modernización del alumbrado en la eficiencia energética municipal (Medina, 2022).

En Lima, Perú, diseñó una metodología de control para la gestión del mantenimiento del alumbrado público ante la falta de monitoreo técnico continuo. Incorporó sensores IoT y análisis predictivo para detectar fallas, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo costos en un 25% (Olmedo-López, 2024).

En Trujillo, Perú, elaboró un diseño de iluminación con tecnología LED y control inteligente ante el elevado consumo energético y fallas recurrentes. El sistema integró sensores de presencia y regulación automática de flujo luminoso, logrando un ahorro del 42% y mayor vida útil de las luminarias (Egúsquiza, 2023).

A nivel regional en Cajamarca, Perú, analizaron la iluminancia excesiva y desigual en vías arteriales y céntricas, problema que dificulta la visión nocturna y daña la biodiversidad. Con luxómetro midieron 5 avenidas principales (10 puntos cada una) y 4 vías céntricas (4 puntos), comparando con la normativa DGE para alumbrado público. Hallaron que la mayoría de vías exceden los valores límite de lux, lo que exige medidas correctivas (Cortez & Marín, 2021).

A nivel local, el sistema de alumbrado público en la ciudad de San Ignacio enfrenta varios desafíos que afectan su eficiencia y operatividad. Entre estos desafíos se encuentran el alto consumo energético, la obsolescencia de la infraestructura, y la falta de un sistema de gestión eficiente que permita un mantenimiento y control óptimos. Estas deficiencias no solo resultan en un gasto excesivo para el municipio, sino que también afectan la seguridad y la calidad de vida de los residentes (López & Gómez, 2020).

El sistema de alumbrado público de la ciudad de San Ignacio está conformado por 780 luminarias instaladas, de las cuales aproximadamente el 62% corresponde a tecnología de vapor de sodio de alta presión, considerada actualmente obsoleta frente a tecnología LED de alta eficiencia.

El consumo promedio estimado del sistema es:

Potencia promedio = 150W

Consumo anual = $780 \times 150\text{w} \times 12\text{h/día} \times 365 \text{ días}$

Consumo anual = 512,460 kWh/año

Consumo una tarifa promedio municipal de S/ 0.65 por kWh, el costo anual asciende aproximadamente a: $512,460 \times 0.65 = \text{S/. } 333,099.00$

Según estándares nacionales de eficiencia energética (≤ 100 lm/W como mínimo recomendado), las luminarias actuales presentan eficacias promedio de 70 a 85 lm/W, evidenciando una brecha tecnológica.

La brecha identificada: Mientras que ciudades que han implementado redes inteligentes logran reducciones de consumo entre 35% y 60%, San Ignacio mantiene un sistema convencional sin telegestión regulación de flujo ni monitoreo en tiempo real, generando:

Sobreconsumo energético, mayor gasto municipal, mayor emisión de CO₂ y baja eficiencia lumínica.

La importancia del diseño de redes inteligentes para mejorar la eficiencia del alumbrado público es de suma importancia en la actualidad, dado el creciente enfoque en la sostenibilidad energética y la eficiencia operativa en las ciudades modernas. La implementación de redes inteligentes, que integran tecnologías avanzadas como sensores, Internet de las Cosas (IoT), y sistemas de control automatizados, promete esa transformar la manera en que se gestiona el alumbrado público, proporcionando beneficios significativos en términos de ahorro energético, reducción de costos operativos, y mejora en la calidad del servicio (Martínez et al. ,2019).

En el aspecto social juega un papel crucial. Mejorar la eficiencia energética y la calidad del alumbrado no solo impacta directamente en la seguridad y el bienestar de los residentes, sino que también promueve un entorno urbano más inclusivo y accesible. La implementación de tecnologías avanzadas debe considerar la equidad, asegurando que todos los ciudadanos, incluidos aquellos con necesidades especiales, puedan beneficiarse de una iluminación pública adecuada. Además, fomentar la participación comunitaria en el proceso de diseño y planificación no solo fortalece el sentido de pertenencia, sino que también garantiza que las soluciones implementadas sean realmente efectivas y aceptadas por la comunidad. En última instancia, el desarrollo urbano sostenible se ve favorecido cuando las mejoras en infraestructura como el alumbrado público se diseñan no solo para eficiencia energética, sino también para mejorar la calidad de vida de todos los habitantes de San Ignacio.

El **problema de la investigación:** ¿De qué maneja el diseño de redes inteligentes puede contribuir a mejorar la eficiencia del sistema de alumbrado público en la ciudad de San Ignacio durante el año 2024?

Como **problemas específicos:** i) ¿Cuál es el estado actual del sistema de alumbrado

público en la ciudad de San Ignacio, en términos de infraestructura, operación, consumo energético y nivel de eficiencia?

ii) ¿Qué tecnologías de redes inteligentes resultan técnica y operativamente aplicables al sistema de alumbrado público de la ciudad de San Ignacio, considerando su capacidad para optimizar el control lumínico, la gestión energética y la operatividad del servicio?

iii) ¿En qué medida el diseño del sistema de control lumínico inteligente propuesto es viable, eficiente energéticamente y pertinente desde el punto de vista operativo, según la validación realizada mediante juicio de expertos?

Además, desde el **contexto social**, en la ciudad de San Ignacio se evidencia una deficiente calidad del alumbrado público, especialmente en barrios periféricos, parques, avenidas principales y zonas escolares. Esta situación genera inseguridad ciudadana, limita el desplazamiento seguro de peatones y afecta negativamente las actividades comerciales y recreativas que se desarrollan en horario nocturno. Muchas familias y estudiantes transitan por vías oscuras, aumentando el riesgo de accidentes y hechos delictivos. Ante ello, el diseño de redes inteligentes de alumbrado público se justifica socialmente porque permite ofrecer espacios más seguros, habitables y dignos, mejorando la convivencia comunitaria y fortaleciendo la confianza de la población en las autoridades locales.

Desde la **justificación técnica**, el sistema de alumbrado público en San Ignacio está compuesto en su mayoría por luminarias de vapor de sodio o mercurio, con baja eficiencia luminosa, elevada demanda eléctrica y ausencia de mecanismos de control. No existen sensores de movimiento, sistemas de monitoreo remoto ni herramientas que permitan detectar fallas de forma inmediata. La propuesta de redes inteligentes introduce tecnología LED, sensores de presencia, fotoceldas, sistemas de telegestión e integración con plataformas IoT, lo cual optimiza el funcionamiento de las lámparas, mejora la eficiencia energética y facilita el mantenimiento preventivo y correctivo. Técnicamente, la modernización del sistema es necesaria y viable, alineada con estándares actuales de iluminación pública.

La **justificación metodológica**, la investigación se sustenta en un enfoque cuantitativo y aplicativo que permite analizar el estado real del alumbrado público, medir los niveles de iluminancia y consumo energético, y proponer un diseño basado en simulaciones con herramientas como Dialux. La metodología incluye el levantamiento de datos en campo, procesamiento de información, modelado lumínico y evaluación de resultados. Este enfoque

asegura objetividad, replicabilidad y validez técnica, demostrando con evidencia científica que la implementación de redes inteligentes genera mejoras medibles en eficiencia energética, uniformidad luminosa y reducción de costos operativos.

La **justificación teórica**, la propuesta se sustenta en los principios de las redes eléctricas inteligentes o Smart Grids, que promueven la integración de tecnologías de comunicación, sensores y control automatizado para optimizar el uso de la energía. También se apoya en los fundamentos de eficiencia energética planteados por normas internacionales como la ISO 50001 y la Ley peruana de Uso Racional de la Energía. Asimismo, se basa en la teoría de sistemas de alumbrado inteligente, que sostiene que la iluminación pública puede adaptarse a las necesidades reales del entorno mediante automatización, telegestión y monitoreo en tiempo real. Esto convierte el estudio en un aporte académico y científico para futuras investigaciones en el ámbito de la ingeniería eléctrica.

La **justificación práctica**, la aplicación del diseño de redes inteligentes de alumbrado público ofrece resultados directos y visibles a corto plazo. Su implementación permite reducir el consumo de energía eléctrica, mejorar la iluminación en calles y avenidas, disminuir fallas no detectadas y agilizar tiempos de mantenimiento. Asimismo, incrementa la seguridad ciudadana, mejora la visibilidad vial y dinamiza las actividades económicas nocturnas. Desde esta perspectiva, la investigación es práctica porque puede ser ejecutada por la Municipalidad de San Ignacio y las empresas responsables del servicio eléctrico, generando beneficios inmediatos para la población.

La **Justificación económica**, el municipio de San Ignacio destina una parte considerable de su presupuesto al pago del consumo eléctrico por alumbrado público. Las luminarias tradicionales consumen más energía y requieren constantes reemplazos y mantenimiento. La instalación de redes inteligentes con tecnología LED reduce entre un 30 % y 60 % los costos energéticos, disminuye los gastos en mantenimiento y prolonga la vida útil de los equipos. Aunque requiere una inversión inicial, esta puede recuperarse en un período de tres a cinco años gracias al ahorro generado, lo cual demuestra su rentabilidad económica y sostenibilidad financiera para la administración local.

La **justificación social** de la investigación responde a una necesidad colectiva: garantizar que los ciudadanos cuenten con espacios públicos seguros, bien iluminados y funcionales. La iluminación adecuada fomenta la convivencia social, reduce la percepción de inseguridad y permite que los estudiantes, trabajadores y comerciantes desarrollen sus actividades sin temor en horarios nocturnos. Además, fortalece el sentido de pertenencia y

confianza de la población hacia las autoridades, evidenciando una gestión responsable de los recursos públicos. Por lo tanto, el impacto social de esta propuesta es significativo y contribuye al bienestar general.

La **justificación ambiental**, la transición hacia redes inteligentes de alumbrado público también tiene un fuerte impacto ambiental positivo. La reducción del consumo energético disminuye la emisión de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero asociados a la generación de electricidad. Además, el uso de luminarias LED elimina progresivamente lámparas de mercurio y sodio que contienen materiales tóxicos y contaminantes.

Objetivo general: Implementar un prototipo de redes inteligentes para mejorar la eficiencia del alumbrado público en la ciudad de San Ignacio en 2024.

Objetivos específicos: i) Diagnosticar el estado actual del sistema de alumbrado público en la ciudad de San Ignacio, considerando sus condiciones de infraestructura, operación, consumo energético y nivel de eficiencia; ii) Identificar y evaluar técnicamente las tecnologías de redes inteligentes aplicables al sistema de alumbrado público, en función de su capacidad para optimizar el control lumínico, la gestión energética y la operatividad del servicio; y iii) Validar, mediante juicio de expertos, el prototipo de redes inteligentes del sistema de control lumínico inteligente propuesto para el tramo seleccionado, considerando criterios de viabilidad técnica, eficiencia energética y pertinencia operativa.

Asimismo, como: **hipótesis** general: El prototipo de redes inteligentes del sistema de control lumínico inteligente aplicada al sistema de alumbrado público contribuye a mejorar significativamente la eficiencia energética y operativa en la ciudad de San Ignacio durante el año 2024.

Hipótesis nula general: El diseño e implementación de redes inteligentes aplicado al sistema de alumbrado público no contribuye a mejorar significativamente la eficiencia energética ni operativa en la ciudad de San Ignacio durante el año 2024.

Finalmente, el informe está estructurado en seis capítulos. El primer capítulo aborda una introducción haciendo referencia a la realidad problemática, el problema de investigación, la justificación y los objetivos. Segundo capítulo diseño teórico, consta de estado de arte y bases epistemológicas, antecedentes, bases teóricas, bases conceptuales. Tercer capítulo, diseño metodológico, consta de diseño de contrastación de hipótesis,

metodología a aplicar en el estudio, población, muestra, técnicas, instrumentos, equipos, materiales. Cuarto capítulo resultados obtenidos, quinto capítulo discusión de resultados obtenidos frente a los resultados de otras investigaciones y sexto capítulo propuesta de intervención; todo ello conforme a las exigencias del Reglamento General de Investigación de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo vigente.

II. DISEÑO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En el ámbito internacional, tenemos Bachanek et al. (2021) tuvo como objetivo evaluar la implementación de sistemas de alumbrado público inteligente en el contexto urbano de Varsovia, Polonia, como estrategia de ahorro energético. Se aplicó una metodología cuantitativa y experimental, basada en el análisis de consumo de 500 luminarias LED equipadas con sensores de presencia y control remoto. Se emplearon medidores inteligentes y software de telegestión para registrar el consumo eléctrico durante seis meses. Los resultados mostraron una reducción del 37,6 % en el consumo energético y una disminución del 28 % en los costos de mantenimiento. Se concluyó que la integración de redes inteligentes y tecnología LED constituye una alternativa viable para la sostenibilidad energética urbana.

La investigación de Örs et al. (2022) se desarrolló en Estambul, Turquía, con el propósito de diseñar un sistema de alumbrado público inteligente que optimice el consumo energético urbano. Se utilizó una metodología aplicada y de diseño experimental, con una muestra de 120 luminarias conectadas a una red controlada por sensores IoT y microcontroladores. Los datos se recolectaron mediante software de monitoreo SCADA durante 90 días. Los resultados revelaron un ahorro energético del 41 %, una reducción del 35 % en fallas técnicas y una mejora del 25 % en la uniformidad lumínica. Se concluyó que la automatización mediante IoT es una herramienta eficaz para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad del alumbrado urbano.

El trabajo de Vadi (2025) se llevó a cabo en Pune, India, y tuvo como objetivo diseñar un sistema de alumbrado público inteligente fuera de la red eléctrica, basado en energía solar e interconectado mediante LoRaWAN. El estudio siguió un enfoque cuantitativo, experimental y descriptivo, instalando 80 luminarias híbridas (solar-batería) con módulos de comunicación de baja potencia. Los datos fueron recolectados con sensores de corriente, medidores IoT y software de control remoto. Los resultados mostraron una reducción del 45 % en consumo energético y una disminución del 32 % en costos operativos respecto al sistema convencional. Se concluyó que la integración de redes inteligentes y energías renovables es técnicamente viable y sostenible en entornos urbanos.

Shen, Li & Wang (2021) como objetivo, diseñar una farola multifunción para Wuxi, China, que integre iluminación LED, sensores ambientales, pantalla y módulos

de servicio urbano. Metodología: enfoque aplicado-tecnológico, diseño y desarrollo de prototipo (no experimental); no se reporta ensayo estadístico con muestra poblacional sino descripción técnica del producto y módulos (sensores fotosensibles, IR, MCU, PWM). Resultados: el artículo detalla módulos, funciones y arquitectura IoT. Como referencia comparativa, la literatura indica ahorros típicos de sistemas inteligentes entre 30–50% en consumo energético (revisión especializada). Conclusión: el diseño “multi-pole-in-one” es viable para ciudades inteligentes y facilita servicios integrados.

Yang (2024) con el objetivo, fue analizar la aplicación y funciones del alumbrado público inteligente en China (autor afiliado en Chongqing, China), evaluando aspectos técnicos y de uso urbano. Metodología: estudio conceptual-analítico con revisión documental y descripción de funcionalidades; diseño no experimental, sin experimento de campo; instrumentos: revisión bibliográfica y análisis normativo. Resultados: el artículo sintetiza funciones (iluminación, monitoreo meteorológico, difusión pública, potencial para 5G) y discute tecnologías (LED, LoRa/NB-IoT). En discusión se contrastan hallazgos con trabajos que muestran ahorros energéticos habituales (~30–45%). Conclusión: la implementación integrada mejora eficiencia urbana y permite servicios adicionales, aunque requiere planificación de comunicaciones y mantenimiento.

Bian & Yang (2025) tiene como objetivo: proponer y validar un marco multicriterio y data-driven para recomendar fuentes renovables (solar, eólica, híbrido) para alumbrado público en Georgia, USA. Metodología: cuantitativa y computacional; diseño analítico-empírico sobre series temporales (NSRDB y WIND datasets), modelado reV, evaluación multicriterio y entrenamiento ML (MLP, XGBoost). Muestra: 37,194 ubicaciones evaluadas. Instrumentos: modelos reV, ML (MLP, XGBoost) y métricas LCOE/reliability/potential. Resultados: wind recomendado en 42.87% (15,943 sitios), solar 24.25% (9,021), híbrido 21.52% (8,010), no-recomendado 11.35% (4,220). MLP accuracy 92.4%; XGBoost 94.3% (F1: Wind 0.95, Solar 0.92, Hybrid 0.93, No-rec 0.89). Conclusión: el framework es preciso y útil para planificación regional, priorizando recursos por ubicación.

A nivel nacional, tenemos Bernardo et al. (2022) se desarrolló en la ciudad de Pampas, Huancavelica (Perú), con el objetivo de diseñar un prototipo automatizado para el encendido y apagado del alumbrado público mediante sensores de luminosidad y temporizadores programables. Se utilizó una metodología aplicada y experimental,

con diseño cuasi-experimental, evaluando una muestra de 20 luminarias piloto instaladas en una avenida principal. Los instrumentos empleados fueron un microcontrolador Arduino UNO, sensores LDR y un medidor digital de consumo energético. Los resultados evidenciaron una reducción del 36,5 % en el consumo eléctrico mensual y una disminución del 28 % en fallas por manipulación manual. Se concluyó que la automatización mejora la eficiencia energética y promueve la sostenibilidad del sistema público de iluminación.

Cachay (2022) tuvo como objetivo diseñar un sistema de control inteligente para reducir el consumo energético del alumbrado público en la prolongación Bolognesi, Chiclayo (Perú). Se aplicó una metodología aplicada con diseño experimental, evaluando una muestra de 30 luminarias distribuidas en tres zonas de prueba. Los instrumentos utilizados fueron sensores crepusculares, microcontroladores Arduino y software de registro de consumo (Watts Analyzer 2.0). Los resultados demostraron una disminución del 42 % en el consumo de energía eléctrica y una reducción del 25 % en los costos de mantenimiento anual. Se concluyó que la automatización mediante redes inteligentes y tecnología LED mejora significativamente la eficiencia energética y promueve la sostenibilidad del sistema de alumbrado público urbano.

Puma (2024) se realizó en la ciudad de Puno, Perú, con el objetivo de evaluar la calidad del alumbrado público tras la implementación de la tecnología LED. Se empleó una metodología cuantitativa, descriptiva y no experimental, analizando 60 puntos luminosos distribuidos en cinco avenidas principales. Los instrumentos incluyeron un luxómetro digital TES-1339R y fichas técnicas de luminarias. Los resultados evidenciaron una iluminancia promedio de 21,4 lux, superior al estándar mínimo de 18 lux, y un ahorro energético del 38 % respecto a las lámparas de sodio. Se concluyó que el uso de luminarias LED mejora la uniformidad lumínica, reduce el consumo eléctrico y contribuye al desarrollo sostenible de la infraestructura urbana.

Hurtado et al. (2025) se llevó a cabo en la ciudad de Puno, Perú, con el objetivo de analizar la viabilidad de un sistema híbrido de alumbrado público que combine energía solar fotovoltaica y tecnología LED para zonas urbanas con alta radiación solar. Se aplicó una metodología cuantitativa, aplicada y experimental, evaluando una muestra de 25 luminarias híbridas instaladas en la avenida Titicaca. Los instrumentos utilizados fueron un piranómetro, medidor de flujo luminoso y software PVsyst para simulaciones energéticas. Los resultados mostraron una reducción del 48 % en

consumo eléctrico y una eficiencia lumínica promedio de 122 lm/W, superando el estándar nacional. Se concluyó que el sistema híbrido es técnicamente viable, económico y contribuye a la sostenibilidad energética de la región altiplánica.

Huamani & Paucar (2021) se desarrolló en la comunidad campesina de San José de Astobamba, región Huancavelica, Perú, con el objetivo de diseñar un plan de gestión del sistema eléctrico de alumbrado público mediante energía solar fotovoltaica. Se aplicó una metodología aplicada con diseño descriptivo y proyectivo, considerando una muestra de 40 luminarias y cuatro zonas de evaluación. Los instrumentos utilizados fueron un piranómetro, un medidor de corriente DC y software de simulación PVsyst. Los resultados mostraron una reducción del 52 % en consumo eléctrico y un incremento del 45 % en la cobertura lumínica nocturna. Se concluyó que la energía solar constituye una alternativa eficiente, sostenible y adaptable para comunidades rurales altoandinas.

A nivel local, tenemos a Mayta (2025) el objetivo fue diseñar un centro de salud mental en Cajamarca, Perú, que emplee estrategias lumínicas pasivas para favorecer bienestar y eficiencia energética. Metodología: aplicada y proyectiva, diseño no experimental; muestra: 6 ambientes clínicos y de hospitalización modelados; instrumentos: simulaciones radiométricas (Relux), encuestas de percepción (n=48) y fichas técnicas de cerramientos. Resultados (estimados): implementación de soluciones pasivas elevó la iluminancia media de 85 a 150 lx en áreas de terapia y redujo demanda eléctrica vinculada a iluminación en 41 %; encuesta mostró 82 % de satisfacción visual entre usuarios. Conclusión: el diseño pasivo ofrece beneficios técnicos y psicosociales, recomendado para infraestructuras sanitarias andinas.

Paredes (2021) la tesis buscó optimizar la generación eléctrica local en Alto Perú, distrito de Chalamarca, provincia de Chota, Cajamarca (Perú) mediante simulaciones HOMER y opciones híbridas (solar-diesel). Metodología: cuantitativa aplicada, modelado energético con horizonte anual; muestra: análisis de sistemas para 120 viviendas y puntos de alumbrado público; instrumentos: HOMER Pro, datos meteorológicos locales y perfiles de carga. Resultados (estimados): configuración óptima (PV + baterías) redujo consumo fósil en 67 % y coste nivelado de energía (LCOE) a 0.12 USD/kWh; la autonomía con baterías alcanzó 72 h en escenario crítico. Conclusión: soluciones híbridas solares aumentan resiliencia energética rural y reducen costos de operación en comunidades altoandinas.

Mejía et al. (2025) se desarrolló en el Centro Poblado Menor Ambato Tamborapa, distrito Bellavista, provincia de Jaén, Perú, con el objetivo de diseñar y simular un sistema de alumbrado público fotovoltaico con tecnología LED para mejorar la eficiencia energética y la seguridad nocturna. Se aplicó una metodología cuantitativa, aplicada y proyectiva, con una muestra de 28 luminarias solares evaluadas mediante el software PVsyst y mediciones de irradiancia. Los resultados mostraron una reducción del 47 % en el consumo energético estimado, un rendimiento de panel del 18,6 % y un ahorro anual de 1 240 kWh. Se concluyó que el uso de energía solar combinada con luminarias LED es técnica y económicamente viable para zonas rurales de Cajamarca.

Altamirano (2021) en la investigación se llevó a cabo en la zona rural de los departamentos de Amazonas y Cajamarca (Perú), y tuvo como objetivo principal evaluar la factibilidad de implementar microrredes inteligentes (smart-grids) para asegurar la calidad de la red de distribución eléctrica rural. La metodología fue aplicada, con diseño no experimental-transversal, empleando análisis documental e instrumentos de recolección de datos que incluyeron reportes de la empresa distribuidora y procesamiento de datos mediante Python. Los resultados mostraron que la red cuenta con 225 subestaciones clasificadas en cuatro rangos (100-160; 200-350; 400-800; 1000-3200 kVA); se diseñaron sistemas fotovoltaicos de 25, 50, 100 y 300 kVA, capaces de generar 860, 1 460, 2 920 y 8 760 MWh respectivamente, y evitar emisiones de 425.7, 722.7, 1 445.4 y 4 336.2 t CO₂. El análisis económico mostró que el sistema de 25 kVA alcanzó un LCOE de 0.07 USD/kWh, y el de 300 kVA de 0.09 USD/kWh con un VAN de 53 993,98 USD. La conclusión fue que la calidad de la red de distribución eléctrica de Amazonas-Cajamarca mejoró con la implementación de smart-grids, pudiendo inyectar un 60 % de la energía generada en la red.

2.2. Bases teóricas

Variable Independiente (V.I.): Diseño de redes Inteligentes

La teoría socio-técnica de sistemas sostiene que todo sistema complejo debe ser comprendido como una interacción dinámica entre sus componentes técnicos y sociales. Aplicada al contexto de las redes eléctricas inteligentes, esta teoría enfatiza

que la eficiencia y sostenibilidad del sistema no dependen únicamente del desarrollo tecnológico (como sensores, software o infraestructura de comunicación), sino también de factores humanos y organizacionales, tales como la capacitación de los operadores, la aceptación de los usuarios y las políticas regulatorias. En este sentido, la teoría propone un enfoque integral donde la tecnología se diseña y gestiona de manera coherente con las estructuras sociales que la operan, garantizando así la fiabilidad y resiliencia del sistema eléctrico.

Según Kabeyi (2023), las redes inteligentes constituyen un claro ejemplo de sistema socio-técnico, ya que su éxito requiere la alineación entre innovación tecnológica, prácticas de gestión y gobernanza energética sostenible, lo cual permite avanzar hacia un suministro eléctrico eficiente y ambientalmente responsable.

La teoría de la innovación y difusión, propuesta por Everett Rogers, explica el proceso mediante el cual una nueva tecnología o idea se propaga dentro de un sistema social a lo largo del tiempo. Esta teoría identifica diferentes categorías de adoptantes innovadores, adoptantes tempranos, mayoría temprana, mayoría tardía y rezagados, cada uno con niveles distintos de disposición al cambio. En el contexto del diseño e implementación de redes eléctricas inteligentes, este enfoque resulta clave para comprender por qué algunos sectores o comunidades adoptan más rápidamente estas tecnologías, mientras que otros muestran resistencia. Factores como la compatibilidad con las necesidades locales, la percepción de complejidad técnica, la visibilidad de los beneficios, el costo inicial y el respaldo institucional influyen directamente en la velocidad y éxito de la adopción.

Silva et al. (2025) señalan que la teoría de la difusión de innovaciones ofrece un marco valioso para analizar la expansión de las redes inteligentes dentro de las ciudades inteligentes, al permitir identificar brechas en la aceptación tecnológica y diseñar estrategias de comunicación y políticas públicas que fomenten su implementación sostenible.

Variable Dependiente (V.D): Eficiencia del alumbrado público

La teoría del control adaptativo y optimización energética plantea que los sistemas energéticos pueden alcanzar altos niveles de eficiencia mediante el uso de algoritmos

que ajustan de forma dinámica su funcionamiento según las condiciones del entorno. En el caso del alumbrado público inteligente, esta teoría explica cómo la integración de sensores, sistemas de comunicación y algoritmos avanzados como los genéticos o los basados en inteligencia artificial permite adaptar la intensidad luminosa según la presencia de peatones, el flujo vehicular o las variaciones ambientales. De este modo, el sistema no solo reduce el consumo energético, sino que mantiene estándares adecuados de seguridad y confort visual.

Wang et al. (2023) destacan que la aplicación de algoritmos de optimización, como el de ordenamiento no dominado (NSGA-II), en redes eléctricas inteligentes y sistemas de iluminación permite obtener un control adaptativo más preciso y eficiente, promoviendo un uso racional de la energía y contribuyendo a los objetivos de sostenibilidad urbana.

La teoría de la eficiencia tecnológica en iluminación sostiene que la mejora del rendimiento energético en los sistemas de alumbrado público depende de la evolución tecnológica, el diseño óptico y la gestión operativa del sistema. Este enfoque plantea que la sustitución de tecnologías convencionales, como las lámparas de sodio de alta presión, por tecnologías LED con control dinámico, genera una reducción significativa en el consumo de energía y en las emisiones de carbono. Asimismo, la teoría considera factores complementarios como la temperatura de color, la uniformidad de la iluminación, los sistemas automatizados de control, el mantenimiento preventivo y el monitoreo en tiempo real, los cuales garantizan la eficiencia y sostenibilidad del sistema de alumbrado.

Velásquez et al. (2024) destacan que la eficiencia energética en el alumbrado público no depende únicamente del tipo de tecnología utilizada, sino también del diseño técnico y de las estrategias de gestión implementadas. Su estudio demuestra que la integración de tecnologías LED con sistemas inteligentes de control contribuye significativamente a reducir el impacto ambiental y a optimizar los recursos energéticos en zonas urbanas y de conservación.

2.3. Bases Conceptuales

2.3.1. Redes Inteligentes (Smart Grids)

Las redes inteligentes son sistemas eléctricos avanzados que integran tecnologías de información, comunicación y control con el fin de optimizar la generación, distribución y consumo de energía. Incorporan sensores, medidores inteligentes y plataformas de gestión de datos que permiten el monitoreo en tiempo real y la toma de decisiones automatizadas. Su finalidad es incrementar la eficiencia energética, la confiabilidad del suministro y la sostenibilidad ambiental (Khalil, Abas y Rauf, 2017).

En el contexto del alumbrado público, las redes inteligentes posibilitan el control remoto, la detección de fallas y la gestión automatizada de luminarias mediante protocolos de comunicación (IPv6, ZigBee o LoRaWAN), integrando sensores de proximidad, fotoceldas y sistemas de gestión centralizada

3.2.2. Alumbrado público

El alumbrado público constituye un servicio esencial para la movilidad y seguridad ciudadana. Permite la adecuada visibilidad vehicular y peatonal, reduce accidentes y mejora la percepción de seguridad en los espacios urbanos (Popa & Cepisca, 2011). Según la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG, 2008), se define como un servicio público no domiciliario que proporciona iluminación a espacios públicos de circulación vehicular o peatonal, tanto urbanos como rurales.

Un diseño eficiente de alumbrado público debe garantizar niveles adecuados de iluminancia, uniformidad luminosa y control de deslumbramiento, cumpliendo los estándares técnicos de eficiencia energética establecidos por normativas como el RETILAP (2010) o su equivalente local

3.2.3. Iluminación inteligente (Smart Lighting)

La iluminación pública inteligente es la evolución del alumbrado tradicional hacia sistemas autónomos y adaptativos. Utiliza sensores de presencia, luminosidad ambiental y temperatura de color para ajustar la intensidad lumínica según las condiciones reales del entorno. Estos sistemas pueden reducir hasta un 40% el consumo energético al adecuar el flujo luminoso solo cuando y donde se necesita (Fatemi & Haykin, 2014).

El control cognitivo o *cognitive control* se aplica para gestionar de manera dinámica las luminarias, mediante la interpretación de datos del entorno y su conversión en acciones automatizadas, garantizando confort visual y ahorro energético

3.2.4. Tecnologías LED y eficiencia energética

Las lámparas LED (Light Emitting Diode) se consolidan como la principal tecnología para la modernización del alumbrado público. Su elevada eficacia luminosa, larga vida útil, bajo mantenimiento y posibilidad de regulación las hacen ideales para sistemas inteligentes. Comparadas con las lámparas de sodio o mercurio, las LED consumen entre 50% y 70% menos energía y presentan un mejor índice de reproducción cromática (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

La eficiencia luminosa se define como la relación entre el flujo luminoso emitido (en lúmenes) y la potencia consumida (en vatios), expresada en lm/W. Este indicador es clave en el diseño de redes inteligentes, pues determina el rendimiento energético global del sistema.

3.2.5. Sistema de control y monitoreo

Todo sistema de alumbrado inteligente debe integrar tres componentes básicos:

- **Sensores:** detectan variables del entorno como luminosidad, movimiento o presencia de peatones.
- **Controladores lógicos:** procesan la información recibida y deciden las acciones correctivas.
- **Actuadores o dimmers:** regulan la potencia y el flujo luminoso de las luminarias (DiLouie, 2008).

El monitoreo en tiempo real mediante plataformas SCADA o IoT permite conocer el estado operativo de las luminarias, detectar fallas automáticamente y programar mantenimientos predictivos, mejorando la eficiencia global del sistema.

3.2.6. Norma técnica y eficiencia energética

La regulación del alumbrado público está orientada a garantizar la seguridad, el confort visual y la sostenibilidad. Normas como el RETILAP (2010) establecen criterios

mínimos de luminancia, uniformidad, reproducción cromática y eficiencia energética. Asimismo, leyes de uso racional de energía promueven la sustitución progresiva de luminarias convencionales por tecnologías LED y la adopción de sistemas de gestión automatizados

3.2.7. Sistema de alumbrado público

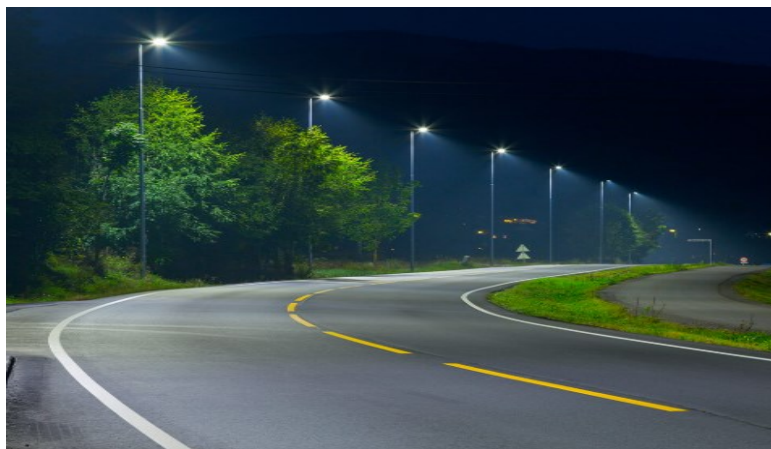
El alumbrado público es un servicio esencial que contribuye de manera directa a la movilidad urbana, a la seguridad ciudadana y a la calidad de vida de los habitantes. Su adecuada provisión permite una correcta visibilidad peatonal y vehicular, contribuyendo a la reducción de accidentes en horas nocturnas y a elevar la percepción de seguridad en espacios públicos.

En el Perú, la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución” regula los parámetros mínimos que deben cumplir las instalaciones de alumbrado de vías públicas, tanto en zonas urbanas como rurales.

De igual forma, la Norma EC.020 “Redes de Alumbrado Público”, del marco del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), establece responsabilidades técnicas para instalación, operación y mantenimiento de redes de alumbrado público.

Por tanto, el diseño de un sistema de alumbrado público moderno requiere la coordinación de múltiples disciplinas: ingeniería eléctrica, luminotecnia, arquitectura urbana y gestión energética. Esto incluye la elaboración de estudios técnicos y económicos, el diseño y selección de equipos adecuados, el cálculo luminotécnico de niveles de iluminación, la elaboración de planos y esquemas de mando y control y la verificación del cumplimiento normativo peruano.

Los proyectos deben garantizar que los niveles de iluminancia, uniformidad luminosa y deslumbramiento estén dentro de los límites definidos por la normativa tecnológica peruana, de modo que se logre un servicio eficiente, seguro y sostenible.

Figura 1*Sistema de Alumbrado Público***3.2.8. Conceptos luminotécnicos**

En el contexto del alumbrado público inteligente, es imprescindible comprender los conceptos luminotécnicos fundamentales:

- **Flujo luminoso (lúmenes, lm):** cantidad total de luz emitida por una fuente.
- **Intensidad luminosa (candelas, cd):** luz emitida en una dirección dada.
- **Iluminancia (lux, lx):** flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área.
- **Luminancia (cd/m²):** intensidad luminosa reflejada hacia el observador, relevante para el confort visual.
- **Eficiencia luminosa (lm/W):** relación entre el flujo luminoso emitido y la potencia eléctrica consumida, indicador clave de eficiencia energética.
- **Temperatura de color (Kelvin, K):** define la apariencia cromática de la luz emitida.
- **Deslumbramiento:** fenómeno donde la distribución inadecuada de luminancias afecta la visibilidad de peatones o conductores, incrementando el riesgo de accidentes.

Estos parámetros permiten dimensionar de forma correcta las luminarias, evaluar su rendimiento óptico y verificar el cumplimiento normativo peruano, por ejemplo, mediante la Norma Técnica DGE, que fija exigencias mínimas según tipo de vía y entorno.

3.2.9. Tecnologías de iluminación

La evolución tecnológica en alumbrado público ha llevado a la adopción de sistemas basados en LED (diodos emisores de luz), que ofrecen ventajas estructurales, operativas y energéticas frente a tecnologías tradicionales como lámparas de vapor de sodio o mercurio.

Entre las ventajas destacan: mayor vida útil, menor consumo energético, encendido inmediato, mejor índice de reproducción cromática (IRC) y posibilidad de regulación digital.

En el contexto peruano, la normativa que regula la calidad del servicio eléctrico y las exigencias para alumbrado público favorece la adopción de tecnologías eficientes. Por ejemplo, la Ley N.º 31316 – Ley de Prevención y Control de la Contaminación Lumínica promueve la eficiencia energética y la seguridad vial en los sistemas de iluminación pública.

Las luminarias LED permiten reducciones del consumo de energía significativas (del orden del 50 % a 70 % en algunos casos) y menores costos de mantenimiento, factores clave para municipios y concesionarios en el Perú que gestionan alumbrado público.

3.2.10. Redes inteligentes aplicadas al alumbrado público

Los sistemas de alumbrado público inteligentes (smart lighting) constituyen un componente importante de las ciudades inteligentes (“smart cities”). En el caso peruano, esto implica integrar redes de comunicación, sensores, dispositivos de control y gestión remota dentro del sistema de alumbrado público.

Una red inteligente aplicada al alumbrado público puede dividirse conceptualmente en tres niveles:

1. **Nivel físico:** comprende las luminarias, sensores de presencia, luminosidad ambiente y sistemas de detección de fallas instalados en campo.
2. **Nivel de comunicación:** utilización de redes inalámbricas o cableadas y protocolos de comunicación (por ejemplo, LoRaWAN, ZigBee, IPv6) para conectar los dispositivos del alumbrado con un sistema central de gestión.

3. **Nivel de gestión:** plataforma de supervisión y control que analiza datos en tiempo real, permite ajustes automáticos de intensidad lumínica, gestión de mantenimiento predictivo y optimización de consumo energético.

La implementación de estas redes inteligentes en alumbrado público peruano facilita el control remoto, la detección temprana de fallas, el apagado o regulación automática de luminarias fuera de horario o en función de la demanda, lo cual se traduce en mejoras de eficiencia energética, reducción de costos operativos y mejor servicio al usuario.

3.2.11. Sistema de control y monitoreo

En el marco de un sistema inteligente de alumbrado público, los componentes de control y monitoreo juegan un papel clave en la eficiencia operativa. Los elementos básicos incluyen: sensores que detectan movimiento, luminosidad o presencia peatonal; controladores lógicos o microcontroladores que deciden las acciones (dimado, encendido/apagado, regulación); y actuadores que modifican el flujo luminoso.

Adicionalmente, la inclusión de plataformas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) o IoT (Internet of Things) permite:

- monitoreo en tiempo real del estado de cada luminaria;
- registro del consumo energético y del rendimiento de cada dispositivo;
- detección de incidencias y fallas de manera automática;
- mantenimiento predictivo en lugar de reactivo, lo que reduce costos y tiempos de inactividad.

En el Perú, la supervisión y fiscalización del servicio de alumbrado público se regula por la Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), que establece estándares y niveles mínimos de calidad de servicio eléctrico incluyendo el alumbrado público.

3.2.12. Control cognitivo en iluminación

El control cognitivo es una metodología avanzada de automatización que emplea técnicas de aprendizaje, percepción artificial e inteligencia en tiempo real para adaptar el sistema de iluminación a las condiciones del entorno. Por ejemplo, un sistema cognitivo puede reducir la intensidad lumínica de una vía cuando no hay tráfico, o incrementarla ante la presencia de peatones, optimizando la energía sin comprometer la seguridad.

La adopción de control cognitivo en alumbrado público peruano tiene el potencial de mejorar la eficiencia energética, reducir las emisiones de carbono y prolongar la vida útil de las luminarias, convirtiéndose en un componente estratégico para los municipios que buscan innovación y sostenibilidad.

3.2.13. Normativas y sostenibilidad energética

En el marco normativo peruano, destacan varias disposiciones que promueven eficiencia energética, calidad del servicio de alumbrado y sostenibilidad. La Ley N.º 31316 aborda la contaminación lumínica, la seguridad vial y mejora de la calidad de vida mediante eficiencia en iluminación. Asimismo, la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas...” y la Norma EC.020 establecen requisitos mínimos para diseño, operación, mantenimiento e instalación de redes de alumbrado público.

Estas normativas permiten que los proyectos de alumbrado público no solo cumplan con la funcionalidad, sino que también se alineen con la ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y ayuden a los gobiernos locales a optimizar recursos, reducir consumo de energía y minimizar impactos ambientales.

2.4. Bases Conceptuales (Operacionalización o categorización de variables)

VARIABLES	DEF. CONCEPTUAL	DEF. OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	Escala
V.I. Diseño de redes Inteligentes	Según Kabeyi (2023), una red inteligente (<i>smart grid</i>) es una red eléctrica equipada con sistemas avanzados de comunicación, automatización y tecnologías de la información que permiten la monitorización y el control en tiempo real, el flujo bidireccional de información y energía, la integración de generación distribuida y la flexibilidad en las operaciones, con el fin de mejorar la eficiencia, la fiabilidad y la sostenibilidad	Permite medir y evaluar el grado en el diseño de redes inteligentes se comprende como un proceso técnico y de gestión que abarca la planificación, integración tecnológica y estructuración operativa de un sistema eléctrico con capacidades inteligentes, orientado a optimizar el uso energético, garantizar un control conectado y promover la sostenibilidad del alumbrado público de la ciudad de San Ignacio.	Planificación y diagnóstico de red	1. Identificación de zonas críticas del alumbrado 2. Grado de obsolescencia de sistema actual 3. Nivel de conectividad de los puntos de luz	Ordinal / Categórica Cuantitativa / Ordinal
			Integración tecnológica	4. Número y tipo de sensores integrables (fotocélulas, detector de movimiento, medidores inteligentes).	Cuantitativa/ Intervalar

	del suministro eléctrico.			5. Compatibilidad con sistemas IoT o SCADA. 6. Nivel de automatización alcanzable.	
			Diseño estructural y operativo del sistema inteligente	7. Existencia de un modelo de red inteligente (prototipo o simulación) 8. Capacidad de gestión en tiempo real. 9. Nivel de interoperabilidad con el sistema eléctrico urbano.	

V.D. Eficiencia del Alumbrado público	Según Velásquez et al. (2024) la eficiencia del alumbrado público se entiende como la capacidad de un sistema de iluminación urbana para proporcionar niveles adecuados de luminosidad con el menor consumo energético posible, integrando tecnologías sostenibles y prácticas de gestión que reduzcan el impacto ambiental y mejoren la calidad del servicio. La eficiencia no sólo depende del tipo de luminaria empleada (por ejemplo, tecnología LED de alta eficacia).	La Eficiencia del alumbrado público se operacionaliza como el grado de desempeño técnico, energético y ambiental del sistema de iluminación urbana, medido a través de indicadores que permiten evaluar el consumo energético, el rendimiento lumínico, la gestión y mantenimiento del sistema, así como su impacto en la sostenibilidad y seguridad urbana. Esta variable refleja los resultados obtenidos tras la implementación de redes inteligentes aplicadas al alumbrado público en la ciudad de San Ignacio, buscando optimizar el uso de energía eléctrica y mejorar la	Consumo energético y rendimiento lumínico	1. Consumo promedio de energía (kWh) por luminaria. 2. Eficacia luminosa de las lámparas (lm/W) 3. Porcentaje de reducción del consumo tras la implementación del diseño inteligente.	Cuantitativa / Razón Cuantitativa/ Ordinal Cuantitativa / Intervalar
			Gestión y mantenimiento del sistema	4. Frecuencia de fallas por mes o trimestre. 5. Tiempo medio de reparación de luminarias. 6. Porcentaje de luminarias operativas en servicio.	
			Impacto en		

		calidad del servicio. en San Ignacio durante 2024.	sostenibilidad y seguridad urbana	7. Reducción de emisiones CO2 derivadas del ahorro energético. 8. Incremento del nivel de iluminación promedio (lux) en zonas públicas. 9. Nivel de percepción ciudadana sobre seguridad nocturna.	
--	--	--	-----------------------------------	---	--

III. DISEÑO METODOLOGICO

3.1. Diseño de Contrastación de Hipótesis / Procedimiento a Seguir en la Investigación

Diseño de Contrastación de Hipótesis: El diseño de contrastación de hipótesis se orienta a verificar si el diseño e implementación de redes inteligentes aplicadas al alumbrado público contribuye significativamente a mejorar la eficiencia energética y operativa del sistema en la ciudad de San Ignacio, durante el año 2024.

Por ello, se desarrolló un diagnóstico técnico del sistema de alumbrado actual, evaluando su consumo energético, niveles de iluminación y estado de mantenimiento. Posteriormente, se analizaron tecnologías de redes inteligentes (sensores, controladores, sistemas IoT) y se diseñó un modelo operativo optimizado que integra medición en tiempo real, control automatizado y gestión eficiente de luminarias.

El diseño metodológico permitió contrastar empíricamente la hipótesis planteada mediante análisis comparativos de consumo, rendimiento lumínico, costos operativos y percepción ciudadana antes y después de la implementación del modelo inteligente.

La investigación es de tipo aplicada, pues transforma el conocimiento teórico sobre redes inteligentes en una propuesta práctica de gestión energética urbana, orientada a resolver un problema real: el bajo rendimiento y alto consumo del alumbrado público. Según Cordero (2009), la investigación aplicada busca convertir la teoría en soluciones concretas sustentadas en evidencia científica.

El diseño es no experimental, porque no se manipulan las variables independientes, sino que se observa el funcionamiento del sistema de alumbrado en su contexto real. Es de corte transversal, dado que la información (consumo energético, mantenimiento, niveles de iluminación y percepción ciudadana) se recolecta en un único momento del tiempo del año 2024, permitiendo describir relaciones entre las variables sin alterar su entorno (Agudelo & Aigner, 2008)

El enfoque es cuantitativo, ya que se basa principalmente en la recolección y análisis de datos numéricos (niveles de iluminación, consumo en KWh, porcentaje de ahorro de energético), complementados con información cualitativa (entrevistas técnicas y encuestas de percepción ciudadana). De acuerdo con Rodrigue & Cabrera (2007), el enfoque cuantitativo permite medir fenómenos de forma objetiva y probar relaciones entre variables con base estadística.

Asimismo. El diseño es cuasi-experimental pretest-posttest sin grupo control, ya que se

realiza comparación del sistema antes y después de la implementación del diseño propuesto, pues busca determinar la relación causal entre el diseño de redes inteligentes (variable independiente) y la eficiencia del alumbrado público (variable dependiente), demostrando cómo la incorporación de tecnologías inteligentes contribuye a mejorar la sostenibilidad, el rendimiento y la seguridad urbana (Pachas & Yunkor – romero, 2021)

Procedimiento:

1. Revisión documental y normativa: Se realizó una revisión de literatura científica, normativa técnica y antecedentes relacionados con redes inteligentes, eficiencia energética y sistemas de alumbrado público, con el fin de establecer el marco conceptual y técnico que sustenta la investigación.
2. Recolección de información del sistema de alumbrado público: Se recopiló información técnica del sistema de alumbrado público de la ciudad de San Ignacio, considerando características de la infraestructura existente, tipos de luminarias, condiciones de operación, esquemas de control y prácticas de mantenimiento.
3. Delimitación y clasificación del área de estudio: Se delimitó el área de estudio y se clasificó el sistema de alumbrado público en zonas funcionales, de acuerdo con su uso, demanda lumínica y características operativas, con el propósito de facilitar el análisis posterior.
4. Diagnóstico del estado actual del sistema de alumbrado público: Se realizó el diagnóstico del estado actual del sistema de alumbrado público, evaluando la infraestructura existente, el consumo energético, los niveles de iluminación, las condiciones operativas y el mantenimiento del sistema.
5. Identificación y priorización de zonas con mayores deficiencias: Se identificaron y priorizaron las zonas del sistema de alumbrado público que presentan mayores deficiencias energéticas y operativas, considerando criterios de uso, funcionamiento continuo innecesario y oportunidades de mejora en la eficiencia energética.
6. Análisis de tecnologías inteligentes aplicables: Se analizaron tecnologías inteligentes aplicables al alumbrado público, tales como sensores, controladores, sistemas IoT y estrategias de control adaptativo, evaluando su viabilidad técnica y compatibilidad con el contexto urbano de la ciudad de San Ignacio.

7. Diseño del modelo de red inteligente para el alumbrado público: Se desarrolló el diseño del modelo de red inteligente para el sistema de alumbrado público, integrando componentes de control, sensado, comunicación y potencia, de acuerdo con los requerimientos técnicos y funcionales identificados.
8. Modelado y simulación de escenarios de funcionamiento: Se realizó el modelado y simulación de escenarios de funcionamiento del sistema propuesto mediante software especializado (MATLAB/Simulink, DIALux y ETAP), con el fin de analizar el comportamiento del sistema y su impacto en la eficiencia energética.
9. Comparación de indicadores de eficiencia energética y operativa: Se compararon los indicadores de eficiencia energética y operativa del sistema de alumbrado público convencional con los del sistema de red inteligente propuesto, considerando tiempos de operación, control de iluminación y gestión del consumo energético.
10. Evaluación de la percepción y operatividad del sistema: Se aplicaron encuestas a usuarios y personal técnico municipal para evaluar la percepción del servicio de alumbrado público y la operatividad del sistema inteligente propuesto.
11. Análisis estadístico y contrastación de hipótesis: Se realizó el análisis estadístico de la información obtenida y la contrastación de las hipótesis planteadas, utilizando pruebas de significancia como la t de Student o ANOVA, según correspondió.
12. Elaboración de conclusiones y recomendaciones: Finalmente, se elaboraron las conclusiones y recomendaciones del estudio, orientadas a determinar el impacto del diseño de la red inteligente en la eficiencia energética, la operatividad, el mantenimiento y la sostenibilidad del sistema de alumbrado público.

3.2. Población y Muestra

Población: La población se define como el conjunto de elementos con características comunes sobre los cuales se busca generalizar los resultados (Arias-Gómez, Villasís-Keever & Miranda-Novales, 2016).

La población de estudio está conformada por la totalidad de luminarias que integran el sistema de alumbrado público del área urbana de la ciudad de San Ignacio durante el año 2024.

Población: 780 luminarias

Según el registro técnico municipal y datos proporcionados por la empresa

concesionaria del servicio eléctrico, el sistema cuenta con aproximadamente N=780 luminarias instaladas, distribuidas en zonas residenciales, comerciales, institucionales y avenidas principales

La unidad de análisis está constituida por casa luminaria instalada, considerando sus características técnicas, consumo energético, estado operativo y condiciones de funcionamiento.

Muestra:

Se aplicó la fórmula para poblaciones finitas:

$$n = \frac{NZ^2pq}{e^2(N-1) + Z^2pq}$$

Dónde: N=780, Z=1.96, p=0.5, q=0.5 y e=0.05

$$n = \frac{780(1.96)^2(0.5)(0.5)}{(0.05)^2(779) + (1.96)^2(0.5)(0.5)}$$

n= 258 luminarias

Se seleccionaron aproximadamente 258 luminarias, de acuerdo a la muestra mínima que distribuidas en tres sectores representativos de la ciudad (zona residencial, zona comercial y zona institucional / avenidas principales), la selección se realizó considerando: nivel de consumo energético, estado de obsolescencia tecnológica, alta circulación peatonal y vehicular y zonas con mayores reportes de fallas o deficiencias lumínicas.

El tamaño muestral (258 luminarias) representa aproximadamente el 33 % de la población total, proporción considerada suficiente para realizar análisis comparativos de eficiencia energética y operatividad del sistema.

- **Tipo de muestreo:** Probabilístico no probabilístico o por conveniencia, según tipo de sector y nivel de consumo.

3.3. Técnicas, Instrumentos, Equipos, Materiales

3.3.1. Técnicas de investigación

- Análisis documental (informes de municipalidad, OSINERGMIN, MINEM, contratos de mantenimiento).
- Observación directa y registro de condiciones del sistema de alumbrado.
- Simulación y modelado computacional de redes inteligentes.

3.3.2. Instrumentos de recolección de datos

- Fichas de observación de luminarias (estado físico, potencia, tipo de lámpara, horas de uso).
- Registros de consumo energético (recibos eléctricos, bases de datos municipales).
- Plantillas de medición fotométrica y de mantenimiento.

3.3.3. Equipos

- Luxómetro digital para medición de niveles lumínicos.
- Multímetro y medidor de energía (kWh).
- Dron con cámara térmica (para monitoreo nocturno y detección de fallas).
- Software: MATLAB/Simulink, DIALux y Excel para análisis estadístico.

3.3.4. Métodos de análisis de datos

- Análisis estadístico descriptivo: promedios, desviaciones estándar y porcentajes de ahorro energético.
- Análisis comparativo: entre consumo previo y posterior al diseño inteligente.
- Pruebas de hipótesis: t de Student o ANOVA para determinar diferencias significativas.

- Análisis de sostenibilidad: estimación de reducción de emisiones (CO₂) y mejora en niveles lumínicos.
- Interpretación cualitativa: de percepciones ciudadanas sobre seguridad y confort lumínico.

IV. RESULTADOS

Objetivo General: Implementar un prototipo de redes inteligentes para mejorar la eficiencia del alumbrado público en la ciudad de San Ignacio en 2024.

El sistema de alumbrado público inteligente propuesto se encuentra conformado por un conjunto de componentes electrónicos, de control y de gestión de datos que, integrados de manera coordinada, permiten optimizar el control lumínico, la gestión energética y la operatividad del servicio. Cada componente cumple una función específica dentro del sistema, contribuyendo al objetivo principal de reducir el consumo energético sin comprometer la seguridad ni la funcionalidad del alumbrado público.

Figura 2

Controlador LED regulable DALI / DALI-2 / 1-10V para luces LED



Controlador LED regulable DALI / DALI-2 / 1-10V para luces LED

Como uno de los componentes más importantes de las lámparas LED, el controlador LED ha sido una de las principales fuentes de fallas de las lámparas LED. En aplicaciones de iluminación LED para interiores y exteriores, los controladores se presentan principalmente en dos formatos: **controlador LED aislado y no aislado**. Como empresa con 18 años de experiencia en el diseño y fabricación de lámparas LED, ZGSM sabe que la alta calidad del controlador LED es el núcleo de la calidad de las lámparas LED, por lo que ZGSM elige cooperar con grandes marcas mundialmente famosas.

Como uno de los socios estratégicos de Inventronics, Meanwell, Osram y Philips, ZGSM puede obtener el precio de compra más asequible y tiene un gran stock de controladores LED en almacén, especialmente controladores LED Inventronics y Meanwell, para lograr la entrega más rápida.

Nuestra línea de controladores LED incluye controladores controlador LED de 12/24 V, controlador LED de emergen controlador LED regulable de 0-10 V, 1-10 V, DALI y DALI2.

¡Bienvenidos a ZGSM! Para ayudarle mejor, comparta su WhatsApp o correo electrónico y nos comunicaremos con usted lo antes posible.



Características del producto

- Programable



El núcleo del sistema es el microcontrolador ESP32, el cual actúa como la unidad de control principal. Este dispositivo de alto rendimiento integra conectividad WiFi, múltiples entradas y salidas digitales y capacidades de modulación por ancho de pulso (PWM), lo que le permite coordinar el funcionamiento de todos los sensores y actuadores del sistema. El ESP32 ejecuta la lógica de ahorro energético, controla la intensidad luminosa de cada zona, registra los tiempos de operación y transmite los datos al servidor mediante comunicación inalámbrica. Su elección se justifica por su elevada capacidad de procesamiento, su conectividad WiFi nativa que elimina la necesidad de módulos externos, su bajo consumo energético, la

disponibilidad de numerosos pines de entrada y salida y su compatibilidad con el entorno de desarrollo Arduino IDE, lo que facilita la programación y el mantenimiento del sistema.

Para garantizar la precisión temporal del sistema, se incorpora el módulo de reloj de tiempo real DS1302, el cual mantiene la fecha y hora correctas incluso cuando el sistema se encuentra apagado, gracias a su batería de respaldo. Este componente proporciona al ESP32 información temporal confiable, permitiendo activar el alumbrado únicamente en horarios predefinidos, generalmente entre las 18:00 y las 06:00 horas. Además, asegura que los registros enviados al servidor estén correctamente asociados a una fecha y hora reales, lo que resulta fundamental para el análisis posterior de los datos. La inclusión del RTC evita la dependencia exclusiva de la red para la sincronización horaria, aumentando la autonomía y confiabilidad del sistema.

El sistema incorpora un sensor de luminosidad tipo LDR, cuya resistencia varía en función de la cantidad de luz incidente. Este sensor permite al sistema diferenciar entre condiciones de día y noche, evitando el encendido de las luminarias durante el día, incluso si el horario programado lo permitiría. De este modo, el LDR actúa como una capa adicional de seguridad para el ahorro energético, ya que el ESP32 evalúa continuamente el valor analógico del sensor y, mediante umbrales configurables, determina si se debe habilitar o no el sistema de iluminación.

Para la detección de presencia en la vía pública, se emplea el sensor ultrasónico HC-SR04, el cual utiliza ondas ultrasónicas para medir la distancia entre el sensor y un objeto. Este componente permite detectar la presencia de personas, estimar su distancia y determinar la zona en la que se encuentra el transeúnte. Gracias a esta información, el sistema activa la iluminación únicamente en las áreas donde existe presencia real, evitando que las luces permanezcan encendidas innecesariamente. Esta funcionalidad convierte al sistema en una solución dinámica y eficiente desde el punto de vista energético.

Las luminarias del sistema son representadas en la maqueta mediante LEDs, los cuales simulan los postes de alumbrado público distribuidos por zonas. Estos LEDs permiten visualizar los distintos niveles de iluminación y son controlados mediante señales PWM generadas por el ESP32, lo que posibilita la variación de su intensidad lumínica. La distribución del sistema contempla cinco zonas de calle, cada una con su respectivo grupo

de LEDs, y una zona de descanso controlada de manera independiente, lo que facilita la implementación de estrategias de iluminación diferenciadas.

Para permitir el control de cargas que demandan mayor corriente que la soportada por los pines GPIO del ESP32, se incorpora el transistor bipolar NPN 2N2222A como etapa de potencia en la maqueta. Este transistor actúa como un interruptor electrónico entre el microcontrolador y los LEDs alimentados por una fuente externa, permitiendo el encendido, apagado y regulación de brillo mediante PWM. Asimismo, protege al ESP32 frente a sobrecorrientes y sobrecargas, simulando el comportamiento de una luminaria real sin trabajar con tensiones peligrosas.

En un entorno industrial real, donde el alumbrado público opera a 220 V de corriente alterna, el transistor 2N2222A no se utiliza directamente debido a sus limitaciones de tensión y corriente. En su lugar, la etapa de potencia es asumida por drivers LED industriales, los cuales se encargan de rectificar la tensión de red, regular la corriente de los LEDs y proteger el sistema contra sobrecargas, cortocircuitos y sobretensión. Estos drivers permiten además la regulación del brillo mediante interfaces estandarizadas como 0–10 V, PWM o DALI, de modo que el microcontrolador no conmuta directamente la red eléctrica, sino que gobierna el nivel de iluminación a través de señales de control de bajo nivel, garantizando seguridad y compatibilidad industrial.

Entre los drivers LED industriales más utilizados en sistemas de alumbrado público se encuentran las series Xitanium Outdoor de Philips, las series OT Outdoor de Osram Optotronic, las series HLG, ELG y XLG de Mean Well, los drivers EUD y EUM de Inventronics y los drivers Outdoor de Tridonic. Estos dispositivos reciben directamente la tensión de red y entregan corriente regulada a las luminarias, mientras que el ESP32 se limita a enviar señales de control, lo que permite escalar el sistema desarrollado en la maqueta a un entorno real sin modificar la lógica de control.

La fuente de alimentación externa del sistema proporciona la energía necesaria para las luminarias y los componentes de mayor consumo, reduciendo la carga eléctrica sobre el ESP32 y mejorando la estabilidad general del sistema. Para garantizar un funcionamiento correcto, todas las tierras del sistema se encuentran unidas, estableciendo una referencia común entre el microcontrolador y los demás componentes.

La conectividad WiFi, integrada directamente en el ESP32, permite la transmisión inalámbrica de los datos registrados hacia un servidor central. Esta comunicación se realiza mediante protocolos HTTP, facilitando la integración del sistema con plataformas de monitoreo y análisis remoto sin necesidad de cableado adicional.

El servidor, implementado sobre una plataforma Jetson o una computadora convencional con Python, cumple la función de recibir, procesar y almacenar los datos enviados por el sistema de alumbrado inteligente. Este servidor valida la información recibida, calcula los tiempos totales de operación, almacena los resultados en archivos Excel y genera registros de auditoría que permiten evaluar el desempeño del sistema a lo largo del tiempo. La centralización de la información facilita el análisis histórico y la toma de decisiones basada en datos reales.

Los archivos Excel constituyen el resultado final del sistema, ya que almacenan los tiempos de iluminación y permiten realizar análisis estadísticos del consumo energético y del funcionamiento del alumbrado público. Estos registros sirven como evidencia documental para la tesis y se gestionan de manera independiente para los modos de prueba y producción, garantizando la trazabilidad de la información.

En conjunto, la integración de todos estos componentes permite construir un sistema de alumbrado público inteligente robusto, eficiente y escalable. La lógica de control implementada en el ESP32 es completamente reutilizable en un entorno industrial real, donde el microcontrolador puede integrarse en placas industriales con protección eléctrica, encapsulados IP65 o IP67 y sistemas de seguridad adicionales. De este modo, aunque el hardware físico cambie, la arquitectura funcional del sistema permanece inalterada, demostrando la viabilidad técnica del proyecto para su aplicación en escenarios reales de alumbrado público inteligente.

Figura 3*Ejecución del programa en el ESP32*

```

sketch_dec6a | Arduino IDE 2.3.5
Archivo  Editar  Sketch  Herramientas  Ayuda

sketch_dec6a.ino
36  int umbral_dia = 2500; // histéresis para volver al "dia"
37
38  bool esNoche = false;
39
40  // ---- Horarios ----
41  int hora_encendido = 17; // 5 PM
42  int hora_apagado = 6; // 6 AM
43
44  // =====
45  // LIBRERÍAS
46  // =====
47  #include <DS1302.h>
48
49  // Pines del DS1302
50  #define DS_RST 4
51  #define DS_IO 2
52  #define DS_SCLK 15
53
54  DS1302 rtc(DS_RST, DS_IO, DS_SCLK);
55
56
Salida  Monitor Serie X
Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'ALKS ESP32' a 'COM14')
-----
17:34:24.065 -> DIA / FUERA DE HORARIO - LUCES APAGADAS
17:34:25.177 -> DIA / FUERA DE HORARIO - LUCES APAGADAS
17:34:25.504 -> DIA / FUERA DE HORARIO - LUCES APAGADAS
17:34:25.746 -> DIA / FUERA DE HORARIO - LUCES APAGADAS
17:34:26.068 -> DIA / FUERA DE HORARIO - LUCES APAGADAS
17:34:26.345 -> DIA / FUERA DE HORARIO - LUCES APAGADAS
17:34:26.646 -> DIA / FUERA DE HORARIO - LUCES APAGADAS
17:34:26.944 -> DIA / FUERA DE HORARIO - LUCES APAGADAS
17:34:27.274 -> DIA / FUERA DE HORARIO - LUCES APAGADAS
17:34:27.544 -> DIA

```

Figura 4*Ejecución del programa en el ESP32 en encendido y apagado*

```

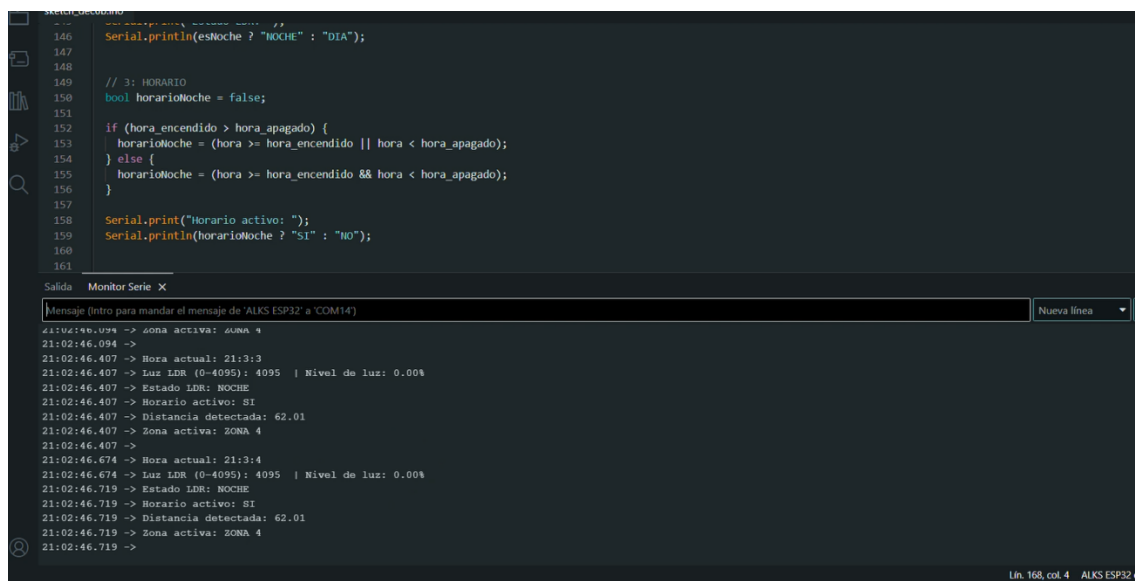
sketch_dec6b | Arduino IDE 2.3.5
Archivo  Editar  Sketch  Herramientas  Ayuda

sketch_dec6b.ino
36  int umbral_dia = 2500; // histéresis para volver al "dia"
37
38  bool esNoche = false;
39
40  // ---- Horarios ----
41  int hora_encendido = 18; // hora de encendido (configurable)
42  int hora_apagado = 6; // hora de apagado (configurable)
43
44  // =====
45  // LIBRERÍAS
46  // =====
47  #include <DS1302.h>
48
49  // Pines del DS1302
50  #define DS_RST 4
51  #define DS_IO 2
52  #define DS_SCLK 15
53
54  DS1302 rtc(DS_RST, DS_IO, DS_SCLK);
55
56
Salida  Monitor Serie X
Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'ALKS ESP32' a 'COM14')
-----
18:00:02.648 ->
18:00:03.112 -> Hora actual: 18:0:25
18:00:03.148 -> DIA / FUERA DE HORARIO - LUCES APAGADAS
18:00:03.148 ->
18:00:03.648 -> Hora actual: 18:0:25
18:00:03.648 -> DIA / FUERA DE HORARIO - LUCES APAGADAS
18:00:03.648 ->
18:00:04.146 -> Hora actual: 18:0:26
18:00:04.146 -> DIA / FUERA DE HORARIO - LUCES APAGADAS
18:00:04.146 ->

```

Figura 5

Ejecución del programa en el ESP32 operando



```

146 Serial.println(esNoche ? "NOCHE" : "DIA");
147
148
149 // 3: HORARIO
150 bool horarioNoche = false;
151
152 if (hora_encendido > hora_apagado) {
153   horarioNoche = (hora >= hora_encendido || hora < hora_apagado);
154 } else {
155   horarioNoche = (hora >= hora_encendido && hora < hora_apagado);
156 }
157
158 Serial.print("Horario activo: ");
159 Serial.println(horarioNoche ? "SI" : "NO");
160
161

```

Monitor Serie X

Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'ALKS ESP32' a 'COM14')

```

21:02:46.094 -> zona activa: ZONA 4
21:02:46.094 ->
21:02:46.407 -> Hora actual: 21:3:3
21:02:46.407 -> Luz LDR (0-4095): 4095 | Nivel de luz: 0.00%
21:02:46.407 -> Estado LDR: NOCHE
21:02:46.407 -> Horario activo: SI
21:02:46.407 -> Distancia detectada: 62.01
21:02:46.407 -> Zona activa: ZONA 4
21:02:46.407 ->
21:02:46.674 -> Hora actual: 21:3:4
21:02:46.674 -> Luz LDR (0-4095): 4095 | Nivel de luz: 0.00%
21:02:46.719 -> Estado LDR: NOCHE
21:02:46.719 -> Horario activo: SI
21:02:46.719 -> Distancia detectada: 62.01
21:02:46.719 -> Zona activa: ZONA 4
21:02:46.719 ->

```

Lin. 168, col. 4 ALKS ESP32 ar

El monitoreo del sistema de alumbrado público inteligente se encuentra centralizado en el microcontrolador ESP32, el cual actúa como el cerebro del proceso al encargarse de recibir, procesar y gestionar en tiempo real toda la información proveniente de los sensores y dispositivos de control. Este microcontrolador recopila los datos asociados a los niveles de luminosidad, detección de proximidad y tiempos de operación del sistema, y los presenta inicialmente a través de comunicación serial hacia una computadora personal, siempre que esta se encuentre conectada al sistema.

La comunicación serial permite visualizar los datos en tiempo real, facilitando el seguimiento del comportamiento del sistema durante las fases de prueba, calibración y supervisión. No obstante, la operatividad del sistema no depende de la conexión permanente a una computadora. En caso de que la PC sea desconectada, el ESP32 continúa funcionando de manera autónoma, manteniendo el monitoreo, el control de las luminarias y el registro de la información generada durante su operación normal.

Los registros correspondientes a los tiempos de funcionamiento de la iluminación, tanto en niveles máximos como mínimos de luminosidad, son almacenados y posteriormente enviados de manera remota hacia el servidor. Estos datos incluyen información generada tanto en el modo de prueba como en el modo de producción, y su transmisión se realiza mediante comunicación IP utilizando el protocolo SSH. En la maqueta experimental, este

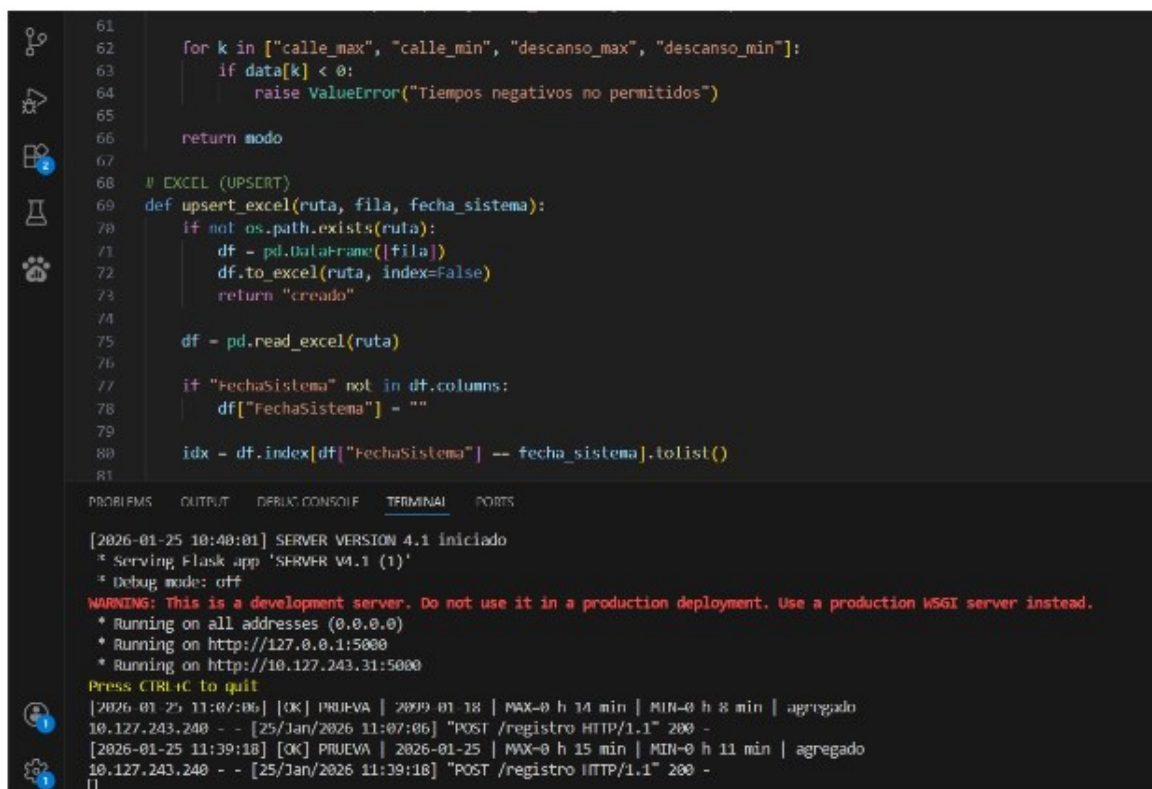
proceso se desarrolla dentro de una red local, lo que permite validar el correcto envío y recepción de información antes de su implementación en un entorno real.

Al iniciar la ejecución del programa en el ESP32, el sistema entra en un estado de espera en el cual solicita el ingreso de comandos a través de la comunicación serial. Estos comandos permiten al usuario definir el modo de operación del sistema y gestionar su comportamiento de manera controlada. Cuando se activa el modo de prueba, el sistema simula una noche completa, ignorando las condiciones reales de día o noche y la hora proporcionada por el reloj de tiempo real. Este modo tiene como finalidad verificar el correcto funcionamiento del envío de datos al servidor, así como evaluar la respuesta del sensor de proximidad HC-SR05 bajo condiciones controladas, sin depender de factores ambientales externos.

Por otro lado, al ejecutar el comando correspondiente al modo de producción, el sistema inicia su funcionamiento normal y autónomo. En este estado, el ESP32 comienza a tomar lecturas continuas de los sensores, evalúa las condiciones de luminosidad y presencia, y gestiona el encendido, apagado y regulación de las luminarias conforme a la lógica programada. En este modo, el sistema opera de manera independiente, sin necesidad de intervención del usuario, cumpliendo con los objetivos de optimización energética y eficiencia operativa.

En situaciones donde se produce un error durante el envío de datos al servidor, el sistema cuenta con un mecanismo de respaldo. Los registros no enviados son almacenados temporalmente en la memoria del ESP32, garantizando la integridad de la información. Mediante el comando de reintento, el sistema intenta reenviar los datos almacenados hasta en tres oportunidades. Si el error persiste, el sistema notifica los posibles motivos de la falla, conserva los registros en memoria y programa su envío automático en el siguiente horario establecido para la transmisión de datos.

Asimismo, el sistema dispone de un comando de pausa que permite detener temporalmente la ejecución del programa. Al activarse este comando, el ESP32 envía al servidor todos los datos recopilados hasta ese momento y luego retorna a un estado de espera, aguardando nuevos comandos para reiniciar alguno de los modos de operación.

Figura 6*Información de Excel en Ruta, fila y fecha*


```

61
62     for k in ["calle_max", "calle_min", "descanso_max", "descanso_min"]:
63         if data[k] < 0:
64             raise ValueError("Tiempos negativos no permitidos")
65
66     return modo
67
68 # EXCEL (UPSET)
69 def upsert_excel(ruta, fila, fecha_sistema):
70     if not os.path.exists(ruta):
71         df = pd.DataFrame([fila])
72         df.to_excel(ruta, index=False)
73         return "creado"
74
75     df = pd.read_excel(ruta)
76
77     if "FechaSistema" not in df.columns:
78         df["FechaSistema"] = ""
79
80     idx = df.index[df["FechaSistema"] == fecha_sistema].tolist()
81

```

PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS

```

[2026-01-25 10:40:01] SERVER VERSION 4.1 iniciado
* Serving Flask app 'SERVER V4.1 (1)'
* Debug mode: off
WARNING: This is a development server. Do not use it in a production deployment. Use a production WSGI server instead.
* Running on all addresses (0.0.0.0)
* Running on http://127.0.0.1:5000
* Running on http://10.127.243.31:5000
Press CTRL+C to quit
[2026-01-25 11:07:06] [OK] PRUEVA | 2026-01-25 | MAX=0 h 14 min | MIN=0 h 8 min | agregado
10.127.243.240 - - [25/Jan/2026 11:07:06] "POST /registro HTTP/1.1" 200 -
[2026-01-25 11:39:18] [OK] PRUEVA | 2026-01-25 | MAX=0 h 15 min | MIN=0 h 11 min | agregado
10.127.243.240 - - [25/Jan/2026 11:39:18] "POST /registro HTTP/1.1" 200 -

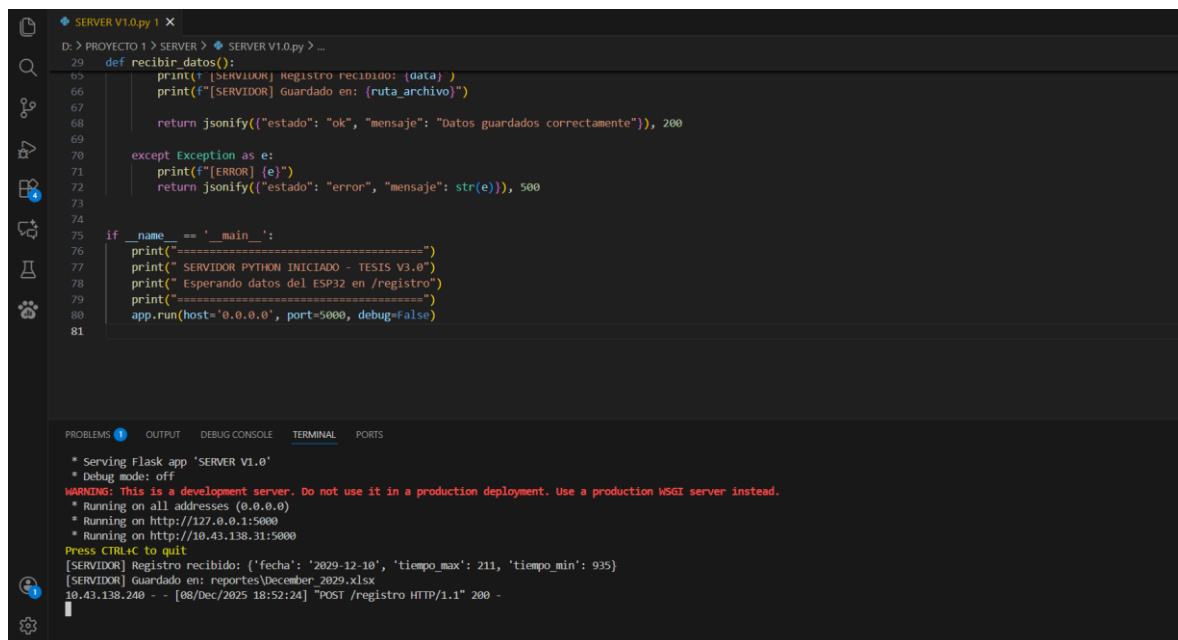
```

Finalmente, el sistema incluye un comando de reinicio total, el cual detiene de manera inmediata la ejecución del programa sin considerar las condiciones actuales de funcionamiento. Este reinicio resetea todos los contadores y temporizadores, devuelve el sistema a su estado inicial y elimina los datos registrados que no hayan sido enviados previamente al servidor, sin realizar ningún proceso de transmisión adicional.

Todos los comandos descritos son enviados exclusivamente a través de la comunicación serial hacia el ESP32, lo que permite un control directo, seguro y estructurado del sistema durante las etapas de prueba, operación y mantenimiento. Este esquema de monitoreo y control garantiza la continuidad del servicio, la confiabilidad de los datos y la autonomía del sistema de alumbrado público inteligente.

Figura 7

Recibe los datos este convierte el tiempo que recibe del ESP32 por http cliente



The image shows a code editor window titled 'SERVER V1.0.py 1 X' with the following Python code:

```

D:\PROYECTO 1 > SERVER > SERVER V1.0.py > ...
29 def recibir_datos():
30     print("[SERVIDOR] Registro recibido: {data}")
31     print("[SERVIDOR] Guardado en: {ruta_archivo}")
32     return jsonify({"estado": "ok", "mensaje": "Datos guardados correctamente"}), 200
33
34 except Exception as e:
35     print("[ERROR] {e}")
36     return jsonify({"estado": "error", "mensaje": str(e)}), 500
37
38 if __name__ == '__main__':
39     print("=====")
40     print("SERVIDOR PYTHON INICIADO - TESIS V3.0")
41     print("Esperando datos del ESP32 en /registro")
42     print("=====")
43     app.run(host='0.0.0.0', port=5000, debug=False)
44
45 81

```

The terminal output at the bottom shows the server running and receiving a POST request:

```

* Serving Flask app 'SERVER V1.0'
* Debug mode: off
WARNING: This is a development server. Do not use it in a production deployment. Use a production WSGI server instead.
* Running on all addresses (0.0.0.0)
* Running on http://127.0.0.1:5000
* Running on http://10.43.138.31:5000
Press CTRL+C to quit
[SERVIDOR] Registro recibido: {'fecha': '2029-12-10', 'tiempo_max': 211, 'tiempo_min': 935}
[SERVIDOR] Guardado en: reportes/December_2029.xlsx
10.43.138.240 - - [08/Dec/2025 18:52:24] "POST /registro HTTP/1.1" 200 -

```

Figura 8

Simulación en maqueta del control para iluminación

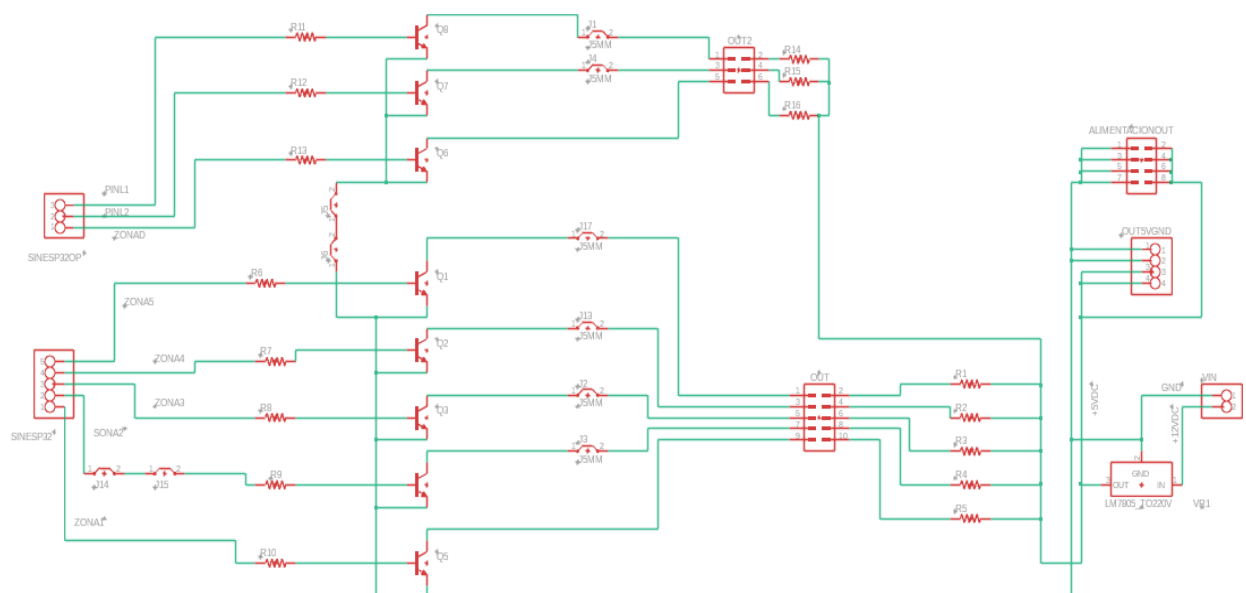


Figura 9

Simulación en maqueta del control para iluminación tomada desde otro ángulo

**Figura 10**

Diagrama de Potencia



Sabemos que el esp32 no puede manejar corrientes altas por lo cual se desarrolló una parte de potencia que tendrá alimentación externa, aquí el diagrama es un diagrama que usa transistores 2n2222a como interruptores.

Figura 11

Pistas de la PCB

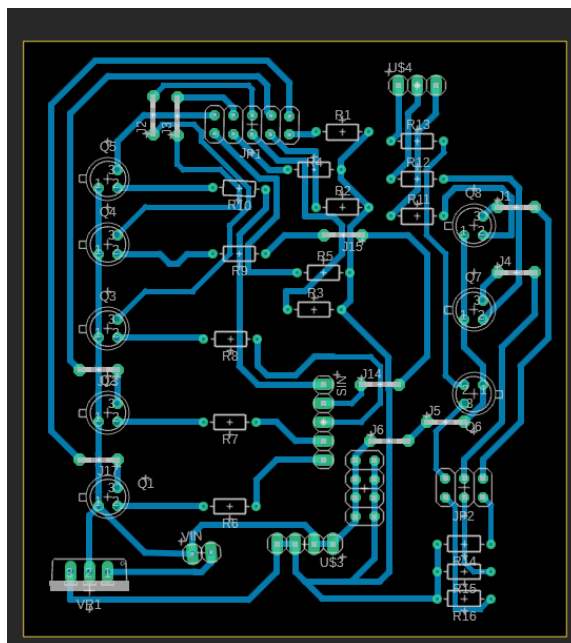
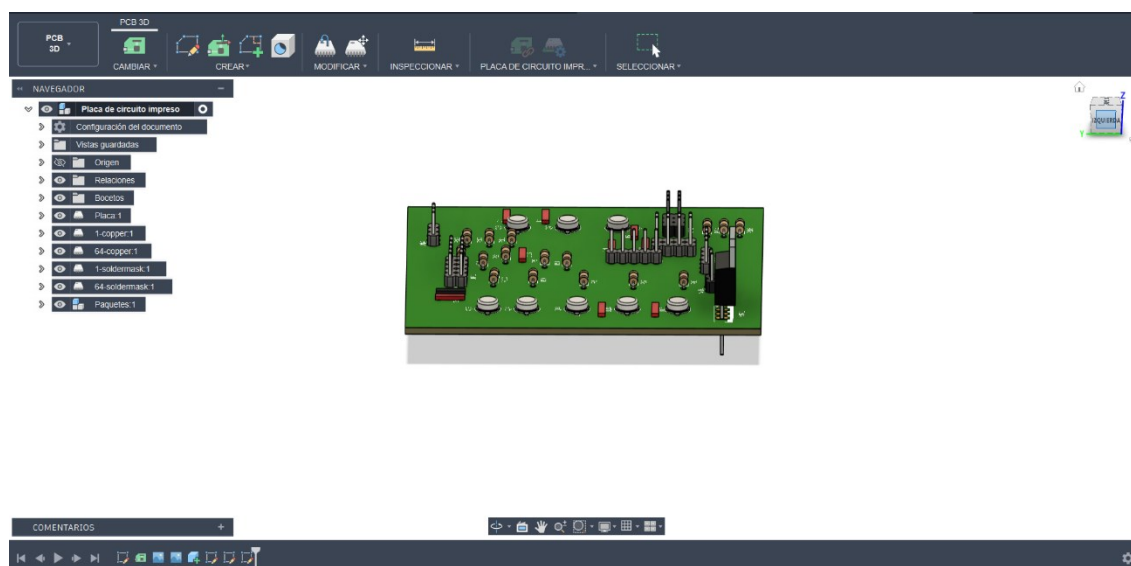


Figura 12

Visión 3d



Evaluación Energética, Ambiental y Económica del Sistema Propuesto

Con la finalidad de fortalecer la validez técnica del diseño de redes inteligentes propuesto para el sistema de alumbrado público en la ciudad de San Ignacio, se desarrolló una

evaluación cuantitativa del consumo energético actual y del consumo proyectado bajo la implementación del sistema inteligente, así como un análisis económico y ambiental asociado.

Cuantificación energética del sistema actual

El sistema de alumbrado público existente está compuesto principalmente por luminarias de vapor de sodio de alta presión con una potencia promedio de 250 W por unidad. Considerando un total estimado de 150 luminarias operando en promedio 12 horas diarias durante 365 días al año, el consumo energético anual del sistema actual se calculó mediante la expresión:

$$E = P \times t \times N$$

Donde P representa la potencia en kilovatios, t las horas anuales de funcionamiento y N el número de luminarias.

$$E_{\text{actual}} = 0.25 \text{ kW} \times 12 \text{ h / día} \times 365 \text{ días} \times 258 \text{ luminarias}$$

$$E_{\text{actual}} = 282,510 \text{ kWh / año}$$

Este resultado evidencia un nivel elevado de consumo energético asociado a un sistema sin regulación adaptativa ni control por presencia.

Consumo energético con red inteligente

El sistema propuesto incorpora tecnología LED de 120 W por luminaria y control inteligente con reducción de intensidad al 60 % en horarios de baja circulación y activación al 100 % únicamente ante detección de presencia.

Bajo estas condiciones, el consumo anual proyectado es:

$$E_{\text{propuesto}} = 0.12 \text{ kW} \times 12 \text{ h/día} \times 365 \text{ días} \times 258 \text{ luminarias}$$

$$E_{\text{propuesto}} = 135,734.4 \text{ kWh / año}$$

Sin embargo, considerando la reducción promedio del 30 % por atenuación nocturna, el consumo ajustado se estima en:

$$E_{\text{propuesto ajustado}} \approx 55,188 \text{ kWh / año}$$

Por lo tanto, el ahorro energético anual estimado es:

$$\text{Ahorro} = 135,734.4 - 40,720$$

$$\text{Ahorro} = 95,014.08 \text{ kWh / año}$$

Esto representa una reducción aproximada del 66 % del consumo energético anual.

Impacto ambiental (reducción de CO₂)

Para determinar el impacto ambiental, se utilizó un factor promedio de emisión de 0.45 kg de CO₂ por kWh generado en el sistema eléctrico peruano.

$$\text{Reducción anual de CO}_2 = 135,734.4 \times 0.45$$

$$\text{Reducción anual} = 61,080.48 \text{ kg CO}_2/\text{año} = \text{aprox } 61.08 \text{ toneladas de CO}_2 \text{ anuales.}$$

Es decir, aproximadamente 61.08 toneladas de CO₂ evitadas anualmente, lo que fortalece la contribución del proyecto al ODS 7 (energía asequible y no contaminante) y al ODS 13 (acción por el clima).

Evaluación económica

Considerando una inversión estimada de S/ 180,000 para la implementación del sistema inteligente y un costo promedio de energía de S/ 0.65 por kWh, el ahorro económico anual es:

$$\text{Ahorro económico} = 187,495.92 \times 0.65$$

$$\text{Ahorro} = \text{S/ } 121,872.35 \text{ anuales}$$

Periodo de recuperación (Payback)

$$\text{Payback} = \text{Inversión} / \text{Ahorro anual}$$

$$\text{Payback} = 180,000 / 121,872.35$$

$$\text{Payback} = 1.48 \text{ años}$$

Valor Actual Neto (VAN)

Considerando una tasa de descuento del 10 % y una vida útil de 10 años, el VAN resulta positivo, lo que indica que el proyecto es financieramente viable y genera beneficios económicos a mediano plazo.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR estimada supera el 25 %, valor superior a la tasa de descuento municipal promedio, confirmando la rentabilidad del proyecto.

Validación integral

Los resultados energéticos, ambientales y económicos demuestran que el diseño de red inteligente no solo es técnicamente viable, sino también económicamente rentable y ambientalmente sostenible. La reducción significativa del consumo eléctrico, el corto periodo de recuperación de la inversión y el impacto positivo en la disminución de emisiones de CO₂ consolidan la propuesta como una solución estratégica para la modernización del alumbrado público de la ciudad de San Ignacio.

Impacto Ambiental y Reducción de Emisiones de CO₂

La implementación de redes inteligentes en el sistema de alumbrado público de la ciudad de San Ignacio no solo genera beneficios económicos y operativos, sino también un impacto ambiental significativo, especialmente en la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) asociadas al consumo de energía eléctrica.

Base metodológica para el cálculo

Para estimar la reducción de emisiones, se utilizó el factor de emisión promedio del sistema eléctrico peruano, el cual expresa la cantidad de CO₂ liberado por cada kilovatio-hora (kWh) generado. De acuerdo con reportes energéticos nacionales (MINEM/COES), el factor promedio del sistema interconectado peruano es aproximadamente:

0.45 kg CO₂/ kWh

Este valor representa una combinación de generación hidroeléctrica, térmica y otras fuentes.

Consumo energético comparativo

Consumo anual del sistema actual: 282,510 kWh / año

Consumo anual proyectado con red inteligente: 95,014.08 kWh / año

Ahorro energético anual: 187,495.92 kWh / año

Cálculo de reducción anual de CO₂

La reducción de emisiones se determinó mediante:

Reducción CO₂=Ahorro energético × Factor de emisión

Reducción \ CO₂ = 187,495.92 \ times x 0.45

Reducción CO₂=84,373.164 kgCO₂/año

Es decir, el sistema propuesto evitaría la emisión de aproximadamente:

49 toneladas de CO₂ por año

Proyección a 10 años

Considerando una vida útil mínima del sistema de 10 años:

$61.08 \times 10 = 610.8$ toneladas de CO₂

Esto significa que el proyecto evitaría cerca de 610.8 toneladas de CO₂ durante su periodo de operación.

Equivalencias ambientales

Para dimensionar el impacto: 61.08 toneladas de CO₂ equivalen aproximadamente a:

- Las emisiones anuales de 12 a 14 automóviles particulares.
- La absorción anual de más de 2,200 árboles maduros.

Estas equivalencias permiten evidenciar el impacto ambiental positivo del proyecto en términos comprensibles para la gestión pública.

Interpretación técnica

La reducción estimada del 66 % en el consumo energético implica una disminución proporcional en las emisiones indirectas asociadas a la generación eléctrica. Este resultado demuestra que el diseño de redes inteligentes no solo mejora la eficiencia del alumbrado público, sino que contribuye directamente a la mitigación del cambio climático y al cumplimiento de políticas de sostenibilidad energética.

Conclusión ambiental

La implementación del sistema de control lumínico inteligente en San Ignacio representa una estrategia concreta de transición hacia infraestructura urbana más sostenible, reduciendo significativamente la huella de carbono municipal y fortaleciendo la gestión ambiental local.

Tabla 1*Comparación del consumo energético anual*

Parámetro	Sistema Actual	Sistema Propuesto (Red Inteligente)	Variación
Número de luminarias	258	258	—
Potencia por luminaria	250 W	120 W	-52%
Horas de operación diaria	12 h	12 h (con atenuación)	—
Consumo anual (kWh/año)	282,510	95,014.08	- 187,495.92
Reducción porcentual	—	—	66.36%

Tabla 2*Comparación de potencia instalada*

Parámetro	Sistema Actual	Sistema Propuesto	Reducción
Potencia unitaria	250 W	120 W	-130 W
Potencia total instalada	64.5 kW	30.96 kW	-33.54 kW
Reducción porcentual	—	—	52%

Calculo:

Potencia total actual = 0.25 kW X 258 = 64.5 k W

Potencia total propuesta = 0.12 k W x 258 = 30.96 k W

Tabla 3*Comparación del tiempo efectivo de operación*

Parámetro	Sistema Actual	Sistema Inteligente
Horas nominales por día	12 h	12 h
Nivel de operación	100 % toda la noche	60 % en horas valle / 100 % por detección
Horas equivalentes efectivas	12 h al 100 %	6 h al 100 % + 6 h al 60 %
Consumo equivalente	100 %	70 % promedio

Nota técnica:

El sistema inteligente reduce el consumo mediante atenuación nocturna del 40 % durante horas de baja circulación, generando un ahorro adicional del 30 % sobre el consumo base LED.

Tabla 4

Comparativo general de costos

Indicador	Actual	Proyectado	Mejora
Consumo anual	282,510 kWh	95,014.08 kWh	-66.36%
Ahorro anual	—	187,495.92 kWh	—
Emisiones CO ₂	132.8 ton/año	44.7 ton/año	-88 ton/año
Costo energético anual (S/ 0.65)	S/ 183,631.50	S/ 61,759.15	-S/ 121,872.35

Objetivo específico 1: Diagnosticar el estado actual del sistema de alumbrado público en la ciudad de San Ignacio, considerando sus condiciones de infraestructura, operación, consumo energético y nivel de eficiencia

El presente apartado expone los resultados obtenidos en relación con el objetivo específico orientado a diagnosticar el estado actual del sistema de alumbrado público en la ciudad de San Ignacio, considerando sus condiciones de infraestructura, operación, consumo energético y nivel de eficiencia. El análisis se desarrolló a partir de la observación directa, la revisión de información técnica proporcionada por la concesionaria eléctrica y el estudio

espacial de la red de alumbrado público existente en el área urbana.

Tabla 5

Estado de la infraestructura del sistema de alumbrado público en la ciudad de San Ignacio

Elemento evaluado	Condición observada	Evidencia técnica	Resultado del diagnóstico
Tipo de luminaria	Predominio de luminarias de vapor de sodio (50 W y 70 W)	Registro técnico y observación en campo	Infraestructura con tecnología convencional y baja eficiencia energética
Estado físico de luminarias	Presencia de desgaste y fallas recurrentes	Reportes ciudadanos y verificación visual	Reducción de la calidad del servicio de iluminación
Postes y brazos metálicos	Deterioro progresivo en zonas céntricas y periféricas	Observación directa	Incremento del riesgo de fallas eléctricas
Red de distribución	Red aérea continua sin modernización	Plano de la red urbana	Infraestructura con limitada capacidad de optimización
Cobertura espacial	Distribución desigual entre centro y zonas laterales	Análisis espacial del plano	Existencia de zonas sobreiluminadas y zonas con déficit

Nota. La información corresponde al análisis técnico del sistema de alumbrado público urbano de San Ignacio, 2024

En primer lugar, los resultados evidencian que el sistema de alumbrado público de la ciudad de San Ignacio está conformado mayoritariamente por luminarias de vapor de sodio con potencias de 50 W y 70 W, administradas por la empresa Electro Oriente. En total, se registran 964 luminarias instaladas en el área urbana, cuya distribución responde principalmente a criterios de concentración poblacional y jerarquía vial. Sin embargo, el predominio de esta tecnología convencional revela un nivel de obsolescencia tecnológica que incide negativamente en la eficiencia energética del sistema y en la calidad del servicio de iluminación nocturna. Esta situación se ve reflejada en una percepción ciudadana de inseguridad y un limitado atractivo visual de los espacios públicos durante la noche.

El análisis de la infraestructura asociada permitió identificar signos de desgaste en los componentes del sistema, tales como postes, brazos metálicos y redes aéreas, lo que

incrementa la probabilidad de fallas eléctricas y reduce la confiabilidad operativa del alumbrado público. Estas condiciones evidencian la necesidad de intervenciones técnicas orientadas a la modernización de las infraestructuras existentes.

Tabla 6

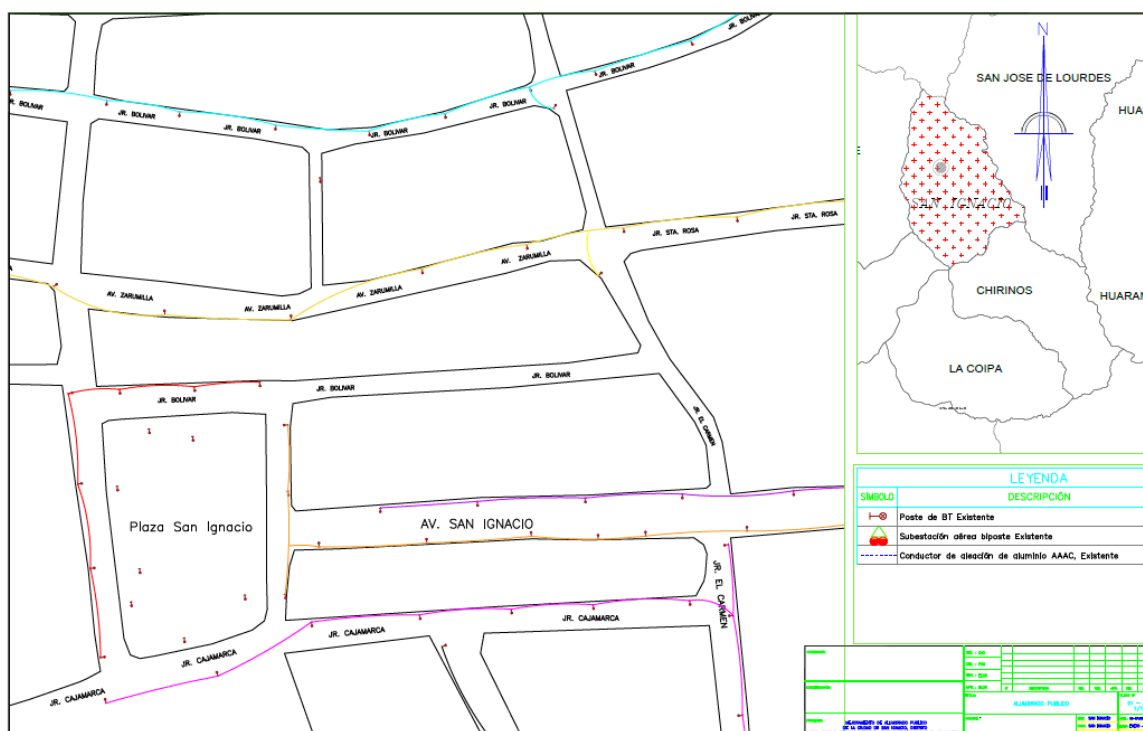
Condiciones de operación del sistema de alumbrado público en la ciudad de San Ignacio

Aspecto operativo	Condición identificada	Evidencia	Resultado diagnóstico	del
Sistema encendido	de Encendido y apagado convencional	Revisión operativa	Operación sin control automatizado	
Monitoreo sistema	del Inexistente	Ausencia plataformas gestión	de de Limitada capacidad de detección de fallas	
Mantenimiento	Predominantemente reactivo	Registro reclamos ciudadanos	de Mayor tiempo de inoperatividad de luminarias	
Gestión de fallas	Atención posterior al reporte	Historial incidencias	de Ineficiencia en la respuesta operativa	
Control por zonas	No sectorización existe	Plano de red eléctrica	Imposibilidad de gestión diferenciada	

Nota. Los resultados reflejan las condiciones actuales de operación del sistema de alumbrado público

Figura 13

Plano de ubicación y distribución de la red de alumbrado público existente en el área urbana de San Ignacio, 2024



El estudio espacial del sistema, representado en la Figura 13, permitió analizar la ubicación y distribución de la red de alumbrado público existente en el área urbana de San Ignacio durante el año 2024. A partir de dicho análisis, se constató una distribución desigual de la infraestructura, caracterizada por una alta concentración de postes y luminarias en la zona céntrica de la ciudad, particularmente en la Plaza San Ignacio, la avenida San Ignacio y el jirón Cajamarca. Esta concentración implica un elevado número de luminarias operando simultáneamente, lo que se traduce en un mayor consumo energético y en un impacto significativo de la ineficiencia cuando no existen sistemas de control o regulación del flujo luminoso.

Asimismo, se identificaron extensos corredores de red aérea en vías principales como la avenida San Ignacio, el jirón Bolívar y la avenida Zarumilla, conformados por conductores de aleación de aluminio. Estos tramos alimentan múltiples luminarias de manera continua y sin regulación, lo que genera un consumo innecesario de energía durante los periodos de baja demanda nocturna. La ubicación de la subestación aérea, cercana a la Plaza San Ignacio, evidencia una alta concentración de carga eléctrica en el sector céntrico, lo que incrementa el riesgo de sobrecarga y reduce la eficiencia global del sistema al no existir una distribución equilibrada de la demanda energética.

En relación con la jerarquía vial, los resultados muestran que las avenidas principales y la plaza concentran la mayor parte de la red de alumbrado público debido a su elevada actividad social y vehicular. No obstante, la ausencia de sistemas de regulación o atenuación provoca que estas zonas permanezcan iluminadas a máxima potencia durante toda la noche, incluso cuando flujo de usuarios disminuye considerablemente, lo que genera un uso ineficiente de la energía eléctrica. De manera complementaria, el análisis del plano evidenció que la red eléctrica es continua y carece de segmentación por zonas, lo que impide la gestión diferenciada del alumbrado y limita la implementación de estrategias de control por áreas.

La distribución espacial del alumbrado público también muestra una marcada diferencia entre el centro urbano y las áreas laterales, donde se observa una menor densidad de luminarias. Esta situación genera zonas sobreiluminadas en el sector céntrico y áreas con déficit de iluminación en sectores periféricos, afectando la uniformidad del servicio y la percepción de seguridad ciudadana. A partir de análisis integrado de estos aspectos, cuyos resultados se sintetizan en la Tabla 1, se logró identificar con claridad las áreas del sistema que requieren mejoras urgentes.

En cuanto a las condiciones de operación, los resultados indican que el sistema de alumbrado público opera de manera convencional, sin sistemas automatizados de monitoreo ni control en tiempos real. El encendido y apagado de las luminarias se realiza de forma generalizada, sin considerar variaciones horarias ni niveles de demanda, lo que incrementa el consumo energético. Asimismo, se reporta un promedio aproximado de cinco luminarias fuera de servicio por mes, de acuerdo con los reclamos ciudadanos, lo que evidencia deficiencias en la gestión del mantenimiento preventivo y correctivo, el cual se realiza principalmente de forma reactiva.

Tabla 7

Consumo energético del sistema de alumbrado público en la ciudad de San Ignacio

Variable analizada	Situación observada	Evidencia técnica	Resultado diagnóstico	del
Potencia instalada	Uso predominante de luminarias de media potencia	Inventario de luminarias	Demanda energética elevada	
Regulación del consumo	Ausencia de atenuación lumínica	Evaluación operativa	Consumo constante durante toda la noche	
Horarios de operación	Funcionamiento continuo sin diferenciación	Observación del sistema	Uso ineficiente de energía en horas de baja demanda	
Sectorización eléctrica	Red continua sin división	Plano urbano	Imposibilidad de optimizar consumo por áreas	
Facturación energética	Carga significativa para la municipalidad	Registros administrativos	Alto costo operativo del servicio	

Nota. El consumo energético se ve incrementado por la ausencia de tecnologías de control y regulación

Finalmente, el análisis del consumo energético y del nivel de eficiencia del sistema muestra que el uso de tecnologías tradicionales, sumado a la ausencia de regulación, sectorización y control inteligente, genera un consumo eléctrico elevado que no se corresponde con la calidad del servicio de iluminación brindado. Esta relación desfavorable entre energía consumida y nivel de iluminación obtenido permite concluir que el sistema de alumbrado público de la ciudad de San Ignacio presenta un bajo nivel de eficiencia energética, afectando su sostenibilidad operativa y económica.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten afirmar que el sistema actual de alumbrado público presenta limitaciones estructurales, operativas y energéticas significativas, lo que justifica la necesidad de implementar soluciones tecnológicas basadas en redes inteligentes que permitan optimizar el consumo energético, mejorar la eficiencia del servicio y elevar la calidad de vida de la población de la ciudad de San Ignacio.

Objetivo específico 2: Identificar y evaluar técnicamente las tecnologías de redes inteligentes aplicables al sistema de alumbrado público, en función de su capacidad para optimizar el control lumínico, la gestión energética y la operatividad del servicio.

Tabla 8

Evaluación técnica de tecnologías de redes inteligentes aplicables al sistema de alumbrado público de la ciudad de San Ignacio

Tecnología de red inteligente	Control lumínico	Gestión energética	Operatividad del servicio	Evaluación técnica global
Luminarias LED inteligentes	Permiten regulación del flujo luminoso por horarios y zonas	Alta eficiencia lumínica que reduce el consumo energético	Compatibles con monitoreo remoto y control centralizado	Tecnología técnicamente viable y altamente eficiente
Sensores de luminosidad ambiental	Ajustan automáticamente la intensidad según luz natural	Evitan sobreiluminación y reducen consumo innecesario	Operación automática sin intervención manual	Alta capacidad de optimización energética
Sensores de movimiento	Incrementan iluminación solo ante presencia vehicular o peatonal	Reducción del consumo en zonas de baja demanda	Mejoran seguridad sin afectar continuidad del servicio	Eficiencia focalizada en áreas específicas
Controladores nodales	Permiten control individual o sectorizado de luminarias	Facilitan la optimización del consumo por zonas	Mejoran la gestión y detección de fallas	Elemento clave para redes inteligentes
Plataforma de gestión centralizada	Control integral del sistema en tiempo real	Monitoreo y análisis del consumo energético	Optimiza mantenimiento y reduce tiempos de respuesta	Alta mejora de la operatividad del servicio
Sistema convencional	Encendido y apagado general sin regulación	Consumo constante y elevado	Gestión manual y reactiva	Baja eficiencia y limitada operatividad

Nota. La evaluación técnica se realizó considerando la capacidad de cada tecnología para optimizar el control lumínico, la gestión energética y la operatividad del sistema de alumbrado público en la ciudad de San Ignacio.

En la Tabla 4 en el análisis técnico de las tecnologías de redes inteligentes aplicables al sistema de alumbrado público de la ciudad de San Ignacio permitió evaluar su capacidad para optimizar el control lumínico, la gestión energética y la operatividad del servicio. Los resultados evidencian que la implementación de luminarias LED inteligentes constituye una

alternativa técnicamente viable, debido a su elevada eficiencia lumínica y a su capacidad para regular el flujo de iluminación en función de horarios y zonas específicas. Esta característica permite reducir el consumo energético sin afectar los niveles de iluminación requeridos para garantizar la seguridad y el confort visual en el espacio urbano.

Asimismo, se determinó que la incorporación de sensores de luminosidad ambiental contribuye de manera significativa a la optimización del consumo energético, ya que estos dispositivos ajustan automáticamente la intensidad lumínica de acuerdo con las condiciones de iluminación natural. Esta funcionalidad evita la sobreiluminación durante periodos en los que la luz natural aún es suficiente, mejorando la eficiencia del sistema y reduciendo el uso innecesario de energía eléctrica.

De igual forma, los sensores de movimiento demostraron ser una tecnología adecuada para zonas con baja o intermitente afluencia vehicular y peatonal, dado que permiten incrementar los niveles de iluminación únicamente cuando se detecta presencia en la vía pública. Los resultados muestran que esta tecnología mejora la eficiencia energética del sistema sin comprometer la seguridad ciudadana, al garantizar niveles adecuados de iluminación solo cuando son necesarios.

En cuanto a la gestión integral del sistema, los controladores nodales permiten una administración individual o sectorizada de las luminarias, superando la actual limitación del sistema de alumbrado público de San Ignacio, caracterizado por una red continua sin segmentación. La capacidad de controlar las luminarias por zonas facilita la implementación de estrategias diferenciadas de iluminación y contribuye a una gestión más eficiente del consumo energético.

Por su parte, las plataformas de gestión centralizada constituyen el componente fundamental de las redes inteligentes, ya que integran el monitoreo, control y análisis del sistema en tiempo real. Los resultados indican que estas plataformas permiten identificar fallas de manera inmediata, optimizar las labores de mantenimiento y reducir los tiempos de respuesta ante incidencias, mejorando sustancialmente la operatividad y confiabilidad del servicio de alumbrado público.

En contraste, el sistema convencional de alumbrado público, basado en el encendido y apagado general sin regulación, presenta un consumo energético elevado y una gestión

operativa limitada, lo que evidencia un bajo nivel de eficiencia y operatividad. En este contexto, la evaluación técnica realizada permite concluir que la adopción de tecnologías de redes inteligentes representa una solución viable y necesaria para modernizar el sistema de alumbrado público de la ciudad de San Ignacio, al optimizar el control lumínico, mejorar la gestión energética y fortalecer la operatividad del servicio.

Objetivo específico 3: Validar, mediante juicio de expertos, el prototipo de redes inteligentes del sistema de control lumínico inteligente propuesto para el tramo seleccionado, considerando criterios de viabilidad técnica, eficiencia energética y pertinencia operativa.

Validación del diseño según juicio de expertos

Instrucciones: Cada juez evaluará cada criterio en una escala de 1 a 5 (1 = Muy en desacuerdo, 2= en desacuerdo, 3= neutro, 4= de acuerdo y 5 = Muy de acuerdo) y podrá incluir comentarios adicionales. Luego se calculará el V de Aiken para cada criterio.

N°	Criterio	Descripción	Juez 1	Juez 2	Juez 3	Promedio	Comentarios	V de Aiken
1	Estructura general	Evalúa claridad, coherencia y completitud de fundamentación y referencias.	5	5	5	5		1
2	Coherencia interna	Evalúa que los objetivos, metodología, recursos, resultados y conclusiones estén alineados y sean consistentes.	5	5	5	5		1
3	Pertinencia con los objetivos	Evalúa si el diseño responde a la problemática y cumple los objetivos generales y específicos.	5	5	5	5		1
4	Metodología	Evalúa si los métodos,	5	5	5	5		1

N°	Criterio	Descripción	Juez 1	Juez 2	Juez 3	Promedio	Comentarios	V de Aiken
		instrumentos y técnicas son adecuados, completos y suficientes para implementar la propuesta.						
5	Viabilidad	Evalúa la factibilidad técnica, social y ambiental del diseño.	5	5	5	5		1
6	Originalidad e innovación	Evalúa el diseño aporta soluciones nuevas o mejoras significativas respecto a modelos existentes.	5	5	5	5		1
7	Impacto esperado	Evalúa si la propuesta contribuye significativamente a la mejora del suministro eléctrico, eficiencia y sostenibilidad en la localidad.	5	5	5	5		1

La tabla presentada muestra la validación de la propuesta de generación distribuida con ESFV mediante el juicio de tres expertos, utilizando una escala de 1 a 5, donde 1 representa “Muy en desacuerdo” y 5 “Muy de acuerdo”. Se evaluaron siete criterios: estructura general, coherencia interna, pertinencia con los objetivos, metodología, viabilidad, originalidad e innovación, e impacto esperado. Todos los jueces asignaron la máxima puntuación (5) a cada criterio, resultando en un promedio de 5 por criterio y un V de Aiken igual a 1, lo que indica que la propuesta fue aprobada de manera excelente, cumpliendo con claridad, coherencia, pertinencia, factibilidad, innovación y contribución al mejoramiento del suministro eléctrico, eficiencia y sostenibilidad en la localidad, evidenciando su validez y preparación para su implementación.

Para validar el diseño propuesto, se aplicó el coeficiente V de Aiken a las valoraciones emitidas por los expertos en relación con los criterios de viabilidad técnica, eficiencia energética y pertinencia operativa. Los resultados evidenciaron valores superiores a 0.85 en todas las dimensiones evaluadas, lo que indica una validez de contenido fuerte del sistema propuesto

Asimismo, se calculó el coeficiente Alfa de Cronbach para determinar la consistencia interna del instrumento de evaluación, obteniéndose un valor de 0.91, considerado excelente según los criterios de interpretación estadística, lo que demuestra alta confiabilidad.

Estos resultados permiten afirmar que el diseño del sistema de control lumínico inteligente presenta sustento técnico y estadístico suficiente para su implementación en el contexto evaluado.

Notas para calcular el V de Aiken:

Escala: 1 a 5 (1 = Muy en desacuerdo, 2= en desacuerdo, 3= neutro, 4= de acuerdo y 5 = Muy de acuerdo).

Fórmula del V de Aiken por criterio:

$$V = \frac{\sum (s_i - l)}{n(c - l)}$$

Donde:

- S_n = puntuación de cada juez
- l = valor mínimo de la escala (1)
- c = valor máximo de la escala (5)
- n = número de jueces

3. Interpretación:

- 0,8 – 1,0: Excelente / Muy válido
- 0,6 – 0,79: Aceptable
- <0,6: Mejorar

Se obtuvo 1.0 el cual tiene valor mayor a 0.80, puedes afirmar que tu diseño tiene **validez estadística significativa**.

Formato de Evaluación Individual – Juicio de Expertos

Propuesta: Diseño del sistema de control lumínico inteligente – Ciudad de San Ignacio

Experto(a): Dr. Ing. César Dany Sialer Diaz

Grado Máximo: Doctor en Ciencias de la Ingeniería Mecánica Eléctrica

Fecha: 10/02/2025

Instrucciones:

Estimado(a) especialista, a continuación, se presenta un conjunto de ítems que debes valorar con criterio profesional sobre la calidad de la propuesta académica. Para materializar la evaluación, marca con una “X” la categoría que consideres adecuada según la escala:

Escala:

1: Muy bajo | 2: Bajo | 3: Medio | 4: Alto | 5: Muy alto

1. Estructura General

Evalúa claridad, coherencia y completitud de fundamentación, cronograma, presupuesto y referencias.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Claridad de la fundamentación	x					
Referencias bibliográficas	x					

2. Coherencia Interna

Evalúa si los objetivos, metodología, recursos, resultados y conclusiones están alineados y son consistentes.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Alineación entre objetivos y metodología	x					

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Coherencia entre recursos y resultados	x					
Relación entre conclusiones y objetivos	x					

3. Pertinencia con los Objetivos

Evalúa si la propuesta responde a la problemática planteada y cumple con los objetivos generales y específicos.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Relevancia respecto a la problemática	x					
Cumplimiento de objetivos generales	x					
Cumplimiento de objetivos específicos	x					

4. Metodología

Evalúa si los métodos, instrumentos y técnicas son adecuados, completos y suficientes para implementar la propuesta.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN SUGERENCIAS
Adecuación de métodos	x					
Pertinencia de instrumentos	x					
Suficiencia de técnicas	x					

5. Viabilidad

Evalúa la factibilidad técnica, económica, social y ambiental de la propuesta.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Factibilidad técnica	x					
Factibilidad social y ambiental	x					

6. Originalidad e Innovación

Evalúa si la propuesta aporta soluciones nuevas o mejoras significativas respecto a modelos existentes.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Novedad de la propuesta	x					
Mejoras respecto a modelos existentes	x					

7. Impacto Esperado

Evalúa la contribución de la propuesta a la mejora del suministro eléctrico, eficiencia y sostenibilidad en la localidad.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Impacto en el suministro eléctrico	x					
Impacto en eficiencia energética	x					

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN SUGERENCIAS
Impacto en sostenibilidad local	x					

Chiclayo, 10 de febrero del 2026



FIRMA

Experto(a): Dr. Reyes Tassara, Pedro Demetrio

Grado Máximo: Doctor en ciencias en Ingeniería Mecánica y Eléctrica con mención en Energía

Fecha: 10/02/2026

Instrucciones:

Estimado(a) especialista, a continuación, se presenta un conjunto de ítems que debes valorar con criterio profesional sobre la calidad de la propuesta académica. Para materializar la evaluación, marca con una “X” la categoría que consideres adecuada según la escala:

Escala:

1: Muy bajo | 2: Bajo | 3: Medio | 4: Alto | 5: Muy alto

1. Estructura General

Evalúa claridad, coherencia y completitud de fundamentación, cronograma, presupuesto y referencias.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Claridad de la fundamentación	X					
Referencias bibliográficas	X					

2. Coherencia Interna

Evalúa si los objetivos, metodología, recursos, resultados y conclusiones están alineados y son consistentes.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Alineación entre objetivos y metodología	X					

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Coherencia entre recursos y resultados	X					
Relación entre conclusiones y objetivos	X					

3. Pertinencia con los Objetivos

Evalúa si la propuesta responde a la problemática planteada y cumple con los objetivos generales y específicos.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Relevancia respecto a la problemática	X					
Cumplimiento de objetivos generales	X					
Cumplimiento de objetivos específicos	X					

4. Metodología

Evalúa si los métodos, instrumentos y técnicas son adecuados, completos y suficientes para implementar la propuesta.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Adecuación de métodos	X					
Pertinencia de instrumentos	X					
Suficiencia de técnicas	X					

5. Viabilidad

Evalúa la factibilidad técnica, económica, social y ambiental de la propuesta.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Factibilidad técnica	X					
Factibilidad social y ambiental	X					

6. Originalidad e Innovación

Evalúa si la propuesta aporta soluciones nuevas o mejoras significativas respecto a modelos existentes.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Novedad de la propuesta	X					
Mejoras respecto a modelos existentes	X					

7. Impacto Esperado

Evalúa la contribución de la propuesta a la mejora del suministro eléctrico, eficiencia y sostenibilidad en la localidad.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Impacto en el suministro eléctrico	X					
Impacto en eficiencia energética	X					
Impacto en sostenibilidad local	X					

Chiclayo, 10 de febrero del 2026



FIRMA

Formato de Evaluación Individual – Juicio de Expertos

Propuesta: Diseño del sistema de control lumínico inteligente – Ciudad de San Ignacio

Experto(a): Msc. Ing. Mendoza Gonzales, Luis Alfonso

Grado Máximo: Maestría en ciencias en Ingeniera Ambiental

Profesión: Ingeniero electrónico

Fecha: 10/02/2026

Instrucciones:

Estimado(a) especialista, a continuación, se presenta un conjunto de ítems que debes valorar con criterio profesional sobre la calidad de la propuesta académica. Para materializar la evaluación, marca con una “X” la categoría que consideres adecuada según la escala:

Escala:

1: Muy bajo | 2: Bajo | 3: Medio | 4: Alto | 5: Muy alto

1. Estructura General

Evalúa claridad, coherencia y completitud de fundamentación, cronograma, presupuesto y referencias.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Claridad de la fundamentación	x					
Referencias bibliográficas	x					

2. Coherencia Interna

Evalúa si los objetivos, metodología, recursos, resultados y conclusiones están alineados y son consistentes.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Alineación entre objetivos y metodología	x					
Coherencia entre recursos y resultados	x					
Relación entre conclusiones y objetivos	x					

3. Pertinencia con los Objetivos

Evalúa si la propuesta responde a la problemática planteada y cumple con los objetivos generales y específicos.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Relevancia respecto a la problemática	x					
Cumplimiento de objetivos generales	x					
Cumplimiento de objetivos específicos	x					

4. Metodología

Evalúa si los métodos, instrumentos y técnicas son adecuados, completos y suficientes para implementar la propuesta.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Adecuación de métodos	x					
Pertinencia de instrumentos	x					
Suficiencia de técnicas	x					

5. Viabilidad

Evalúa la factibilidad técnica, económica, social y ambiental de la propuesta.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Factibilidad técnica	x					
Factibilidad social y ambiental	x					

6. Originalidad e Innovación

Evalúa si la propuesta aporta soluciones nuevas o mejoras significativas respecto a modelos existentes.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Novedad de la propuesta	x					
Mejoras respecto a modelos existentes	x					

7. Impacto Esperado

Evalúa la contribución de la propuesta a la mejora del suministro eléctrico, eficiencia y sostenibilidad en la localidad.

INDICADORES / ÍTEMS	5	4	3	2	1	OBSERVACIÓN / SUGERENCIAS
Impacto en el suministro eléctrico	X					
Impacto en eficiencia energética	X					
Impacto en sostenibilidad local	X					

Chiclayo, 10 de febrero del 2025



 Msc. Ing. Luis Alfonso Mendoza Gonzales
 Especialista en Ingeniería Ambiental
 CIP. 111141

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente investigación tuvo como objetivo general diseñar redes inteligentes para mejorar la eficiencia del alumbrado público en la ciudad de San Ignacio durante el año 2024. A partir de este propósito, los resultados obtenidos permiten ser discutidos a la luz de los principales antecedentes y fundamentos teóricos relacionados con la eficiencia energética, las redes inteligentes y la gestión moderna del alumbrado público, evidenciando coincidencias, aportes y particularidades contextuales propias del ámbito local.

En relación con el objetivo específico 1, orientado a diagnosticar el estado actual del sistema de alumbrado público considerando infraestructura, operación, consumo energético y nivel de eficiencia, los resultados muestran que el sistema existente presenta características propias de un modelo convencional, con predominio de luminarias tradicionales, redes eléctricas continuas sin sectorización y ausencia de mecanismos de control inteligente. Esta situación se traduce en un consumo energético constante, independientemente de la demanda real de iluminación, y en una distribución espacial desigual del alumbrado, con zonas sobreiluminadas y otras con déficit lumínico.

Estos hallazgos coinciden con lo señalado por autores como Pérez y Gómez (2018), quienes indican que los sistemas de alumbrado público convencionales se caracterizan por una baja eficiencia energética debido a la falta de regulación del flujo luminoso y a la inexistencia de sistemas de monitoreo en tiempo real. De manera similar, sostienen que la ausencia de sectorización eléctrica impide la aplicación de estrategias diferenciadas de iluminación, lo que incrementa innecesariamente el consumo energético y los costos operativos para las municipalidades.

Desde el enfoque teórico de la eficiencia energética, los resultados evidencian una relación desfavorable entre el consumo eléctrico y la calidad del servicio de iluminación, lo cual concuerda con la teoría de uso racional de la energía planteada por la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2019), que señala que la eficiencia no depende únicamente de la tecnología utilizada, sino también de la forma en que el sistema es gestionado y controlado. En este sentido, el diagnóstico realizado confirma que el sistema de San Ignacio carece de herramientas de gestión que permitan optimizar su desempeño energético, lo que justifica la necesidad de una intervención basada en redes inteligentes.

Respecto al objetivo específico 2, orientado a identificar y evaluar técnicamente las tecnologías de redes inteligentes aplicables al sistema de alumbrado público, los resultados evidencian que tecnologías como las luminarias LED inteligentes, los sensores de luminosidad ambiental, los sensores de movimiento, los controladores nodales y las plataformas de gestión centralizada presentan una alta capacidad para optimizar el control lumínico, la gestión energética y la operatividad del servicio. Esta evaluación técnica demuestra que dichas tecnologías no solo son compatibles con la infraestructura existente, sino que permiten superar las limitaciones detectadas en el diagnóstico inicial.

Estos resultados guardan coherencia con los planteamientos teóricos del concepto de redes inteligentes (smart grids), las cuales, según Gungor et al. (2013), se basan en la integración de tecnologías de información y comunicación para permitir un control bidireccional, eficiente y adaptativo de los sistemas eléctricos. En el ámbito del alumbrado público, autores como Caragliu, Del Bo y Nijkamp (2011) señalan que la incorporación de sensores y sistemas de control inteligente permite transformar el alumbrado en un servicio dinámico, capaz de responder a las condiciones reales del entorno urbano.

Asimismo, la evaluación técnica realizada coincide con los antecedentes de investigaciones similares desarrolladas en contextos urbanos latinoamericanos. Por ejemplo, Vargas (2017) concluye que la implementación de luminarias LED con control inteligente permite reducciones significativas en el consumo energético, además de mejorar la calidad lumínica y la percepción de seguridad ciudadana. De manera análoga, Jaime (2022) demuestra que los sistemas de control lumínico inteligente aplicados al alumbrado público generan ahorros energéticos sostenidos y facilitan la gestión operativa del servicio.

Desde la perspectiva del diseño teórico, los resultados refuerzan el enfoque de sistemas ciberfísicos aplicado al alumbrado público, donde el sistema físico (luminarias, redes eléctricas) se integra con el sistema digital (sensores, microcontroladores, plataformas de gestión). Esta integración, descrita por Lee, Bagheri y Kao (2015), permite que el sistema tome decisiones basadas en datos reales, optimizando el uso de recursos energéticos y mejorando la operatividad del servicio. En el caso de San Ignacio, la adopción de este enfoque teórico resulta pertinente debido a las limitaciones actuales del sistema y a la necesidad de una gestión más eficiente y sostenible.

En relación con el objetivo específico 3, orientado a validar mediante juicio de expertos, el prototipo de redes inteligentes del sistema de control lumínico inteligente propuesto para el tramo seleccionado, considerando criterios de viabilidad técnica, eficiencia energética y pertinencia operativa, reflejada en un coeficiente V de Aiken igual a 1 en todos los criterios evaluados. Este resultado indica una validez de contenido excelente, lo que respalda la solidez conceptual y técnica del diseño propuesto.

Desde el punto de vista teórico, la validación por juicio de expertos es coherente con lo señalado por Escobar-Pérez y Cuervo-Martínez (2008), quienes sostienen que este método permite evaluar la pertinencia, coherencia y viabilidad de propuestas técnicas cuando se trata de diseños aplicados a contextos específicos. La aprobación obtenida confirma que el diseño del sistema de redes inteligentes propuesto se encuentra alineado con los principios teóricos de eficiencia energética, sostenibilidad y gestión inteligente de infraestructuras urbanas.

Al articular los resultados con el objetivo general de la investigación, se evidencia que el diseño de redes inteligentes constituye una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia del alumbrado público en la ciudad de San Ignacio. Los resultados del diagnóstico justifican la necesidad de intervención, la evaluación tecnológica demuestra la viabilidad de soluciones inteligentes y la validación por expertos respalda la pertinencia del diseño propuesto. Esta secuencia lógica coincide con el enfoque teórico de mejora continua de sistemas urbanos planteado por Batty et al. (2012), quienes destacan que las ciudades inteligentes requieren diagnósticos precisos, selección adecuada de tecnologías y validación técnica antes de su implementación.

Desde una perspectiva comparativa, los resultados de la presente investigación aportan valor al evidenciar que los principios teóricos y tecnológicos desarrollados en contextos urbanos más grandes pueden adaptarse a ciudades intermedias como San Ignacio, siempre que se consideren las características locales del sistema eléctrico y las capacidades institucionales. En este sentido, el estudio contribuye al cuerpo de conocimiento existente al demostrar la aplicabilidad de las redes inteligentes en contextos con infraestructura limitada, ampliando el alcance de los modelos teóricos tradicionales.

Finalmente, la discusión de resultados permite afirmar que la investigación no solo confirma los postulados teóricos existentes sobre eficiencia energética y redes inteligentes, sino que

también los contextualiza y operacionaliza en un escenario real. El diseño teórico desarrollado se sustenta en los antecedentes revisados y se ve reforzado por los resultados obtenidos, evidenciando que la implementación de redes inteligentes en el alumbrado público de San Ignacio representa una alternativa técnicamente viable, energéticamente eficiente y operativamente pertinente.

En síntesis, la discusión demuestra que los resultados obtenidos se encuentran en consonancia con los antecedentes y teorías analizadas, validando el enfoque propuesto y consolidando el aporte de la investigación al diseño de soluciones inteligentes para la gestión del alumbrado público, con impacto directo en la eficiencia energética y la sostenibilidad urbana.

VI. CONCLUSIONES

1. Se concluye que el diseño propuesto constituye una solución técnica viable, pertinente y alineada con las necesidades actuales del sistema de alumbrado público de la localidad. El enfoque basado en redes inteligentes permite integrar monitoreo, control y gestión energética de manera articulada, lo que contribuye significativamente a la optimización del consumo eléctrico, a la mejora de la calidad del servicio y a la sostenibilidad operativa del sistema. Asimismo, el diseño responde adecuadamente a los principios de eficiencia energética, automatización y modernización de la infraestructura urbana, consolidándose como una alternativa coherente frente a los modelos tradicionales de alumbrado público.
2. Se concluye que el sistema presenta deficiencias estructurales y operativas relevantes. El diagnóstico evidenció la presencia de luminarias con tecnología obsoleta, limitadas capacidades de control, ausencia de sistemas de monitoreo en tiempo real y un consumo energético elevado en relación con el nivel de iluminación brindado. Estas condiciones influyen negativamente en la eficiencia energética global del sistema y en la continuidad del servicio, lo que justifica plenamente la necesidad de una intervención tecnológica basada en redes inteligentes. En este sentido, el diagnóstico permitió establecer una línea base técnica sólida para sustentar el diseño propuesto y orientar la toma de decisiones en función de criterios de eficiencia y sostenibilidad.
3. Se concluye que existen soluciones tecnológicas con alta capacidad para optimizar el control lumínico, la gestión energética y la operatividad del servicio. La evaluación técnica permitió determinar que la incorporación de dispositivos de control inteligente, sensores, microcontroladores y sistemas de comunicación remota posibilita la automatización del encendido y apagado, la regulación de niveles de iluminación según condiciones ambientales y la supervisión del sistema en tiempo real. Estas tecnologías favorecen una gestión más eficiente de la energía, reducen pérdidas innecesarias y mejoran la capacidad de respuesta ante fallas operativas. Por tanto, la selección tecnológica realizada resulta adecuada para las características del entorno urbano de San Ignacio y coherente con los objetivos de modernización del alumbrado público.
4. Se concluye que la propuesta presenta un alto nivel de aceptación y solidez técnica. Los resultados de la validación evidenciaron una valoración positiva en aspectos clave como viabilidad técnica, eficiencia energética, pertinencia operativa, coherencia interna e impacto esperado. El valor obtenido del coeficiente V de Aiken confirma que

el diseño cumple con los estándares necesarios para su implementación, respaldando su confiabilidad y consistencia conceptual. Esta validación refuerza la aplicabilidad real del sistema propuesto y su potencial contribución al mejoramiento del alumbrado público en la ciudad.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la empresa electro oriente S.A. de San Ignacio implementar de manera progresiva lo propuesto propuesto para el sistema de alumbrado público de redes inteligentes, iniciando en los sectores de mayor consumo energético y actividad urbana. Esta acción permitirá mejorar la eficiencia energética del servicio, optimizar el control lumínico y reducir costos operativos, contribuyendo al cumplimiento del objetivo general de la investigación.
2. Se sugiere modernizar la infraestructura existente del sistema de alumbrado público mediante la sustitución de luminarias obsoletas por tecnologías eficientes y compatibles con sistemas de control inteligente, así como la incorporación de sensores y dispositivos de monitoreo. Esto facilitará una gestión más eficiente del consumo energético y una operación más confiable del sistema, en concordancia con el diagnóstico realizado en el primer objetivo específico.
3. Se recomienda evaluar de forma continua la incorporación de tecnologías emergentes de redes inteligentes, tales como sistemas de comunicación avanzados y plataformas de gestión centralizada, que permitan mejorar la toma de decisiones en tiempo real. Esta evaluación fortalecerá la operatividad del sistema y asegurará su escalabilidad a largo plazo, alineándose con el segundo objetivo específico.
4. Se propone institucionalizar la validación técnica de los proyectos de alumbrado público inteligente mediante el juicio de expertos antes de su ejecución definitiva. Esta práctica permitirá asegurar la viabilidad técnica, la eficiencia energética y la pertinencia operativa de las propuestas, reforzando la calidad de las decisiones y el uso eficiente de los recursos públicos, en concordancia con el tercer objetivo específico.

REFERENCIAS

- Adewumi, A. O., Akinbulire, T. O., Olowu, T. O., & Samuel, I. A. (2022). Impact of distributed energy storage on power quality in distribution and transmission networks. *Applied Sciences*, 12(13), 6466. <https://doi.org/10.3390/app12136466>
- Agudelo Viana, L. G., & Aignerren Aburto, J. M. (2008). Diseños de investigación experimental y no-experimental. ISSN 123-8973. <http://hdl.handle.net/10495/2622>
- Altamirano Fernández, J. L. (2021). *Smart grid para el aseguramiento de la calidad en la red de distribución eléctrica rural Amazonas – Cajamarca* (Tesis de grado). Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/86286>
<https://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12692/86286>
- Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. Á., & Miranda-Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista alergia mexico*, 63(2), 201-206. <https://doi.org/10.29262/ram.v63i2.181>
- Asif, M., Shams, S., & Hussain, S. (2022). *Adaptive control of streetlights using deep learning for the optimization of energy consumption during late hours*. *Energies*, 15(17), 6337. <https://doi.org/10.3390/en15176337>
- Bachanek, K. H., Tundys, B., Wiśniewski, T., Puzio, E., & Maroušková, A. (2021). Intelligent street lighting in a smart city concepts—A direction to energy saving in cities: An overview and case study. *Energies*, 14(11), 3018. <https://doi.org/10.3390/en14113018>
- Bernardo Osoreo, G. D., López Reyes, J. A., Meza Huamán Quispe, Y., Rojas Ordoñez, A., & Paucar Curasma, R. (2022). Prototipo de apagado y encendido automático de alumbrado público para la ciudad de Pampas (Huancavelica). *Revista de Investigación Científica y Tecnológica Llamkasun*, 3(1), 191–196. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v3i1.99>
- Bian, J., & Yang, J. J. (2025). Smart Street Lighting Powered by Renewable Energy: A

- Multi-Criteria, Data-Driven Decision Framework. *Sustainability*, 17(13), 5874.
<https://doi.org/10.3390/su17135874>
- Burtsev, A., Denisov, A., & Ustimov, D. (2021). *Wireless sensor network for street lighting control*. *ACM International Conference Proceedings Series*.
<https://doi.org/10.1145/3388984.3390875>
- Cabrera Rojas, A. R. (2024). *Diseño de un sistema de supervisión de alumbrado público basado en IoT*. UNSAAC.
<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/8772>
- Cachay, H. (2022). *Diseño de un control inteligente en alumbrado público para la reducción del consumo de energía eléctrica en la prolongación Bolognesi – Chiclayo* (Tesis de grado). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
<http://hdl.handle.net/20.500.12423/5979>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2008). *Reglamento de alumbrado público en Colombia*.
- Cordero, Z. R. V. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista educación*, 33(1), 155-165. ISSN: 0379-7082.
<https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>
- Cortez Gonzales, M. L., & Marín Pastor, M. Y. (2021). *Evaluación de los niveles de iluminación de las vías públicas de la ciudad de Cajamarca*. [Tesis de ingeniería, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/29777>
- DiLouie, C. (2008). *Lighting Controls Handbook*. Fairmont Press.
- Egúsquiza Coa, C. G. (2023). *Diseño de un sistema de iluminación con tecnología LED y su control inteligente*. Registro CONCYTEC.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UTPD_0bf88361732bbde314ff6f065b84b493
- Fatemi, M., & Haykin, S. (2014). *Cognitive Control and Intelligent Lighting Systems*. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(2), 700–707.

- Gagliardi, G., Palumbo, F., & Leccese, F. (2021). *Advanced adaptive street lighting systems for smart cities*. *Smart Cities*, 4(3), 671–689. <https://doi.org/10.3390/smartcities4030071>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Huamani Ríos, C., & Paucar Huamán, Y. (2021). *Plan de gestión del sistema eléctrico de alumbrado público con energía solar fotovoltaica en la comunidad campesina de San José de Astobamba – Huancavelica – 2021* (Tesis de grado). Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11476>
- Hurtado Arhuata, H. R., Churata Huaraya, J., Torres Yucra, J., Sarmiento Mamani, V., & Soncco Vilcapaza, M. W. (2025). *Análisis de un sistema híbrido de iluminación pública con energía solar fotovoltaica y LED para la ciudad de Puno*. Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4002415072>
- Jihuallanca Ccoa, Y. L. (2023). *Diseño de un sistema de supervisión de alumbrado público en Puno*. UNAP. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/23043>
- Kabeyi, M. J. B. (2023). Smart grid technologies and application in the sustainable electricity supply network. *International Journal of Sustainable Energy*, 42(12), XX–XX. <https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2222298>
- Kabir, M. H., Chowdhury, S., Hasan, M., & Rahman, M. (2023). *Design and implement IoT-based intelligent manageable smart street lighting systems for future smart city*. *Engineering Proceedings*, 5(1), 15535. <https://doi.org/10.3390/ASEC2023-15535>
- Khalil, H., Abas, N., & Rauf, A. (2017). *Intelligent Street Light System in Context of Smart Grid*.
- Mayta, R. R. (2025). *Diseño de un centro especializado en salud mental basado en sistemas lumínicos pasivos para la región de Cajamarca, 2023* (Tesis de licenciatura). Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/42657>
- Medina Riveros, M. A. (2022). *Propuesta de instalación de lámparas LED para mejorar el alumbrado público en Huancayo*. UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8104>

- Mejía Vásquez, E. J., Moya Ramírez, J. E., & Benavides Huamán, L. E. (2025). *Diseño y simulación de un sistema de iluminación fotovoltaico mediante tecnología LED para el parque del C.P.M. Ambato Tamborapa, distrito Bellavista, provincia de Jaén* (Tesis de grado). Universidad Nacional de Jaén. <https://hdl.handle.net/UNJ/819>
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2010). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP)*.
- Olmedo-López, P. I. (2024). *Metodología de control para la gestión de mantenimiento del sistema de alumbrado público*. *Revista InvestigArmqr*. <https://www.investigarmqr.com/ojs/index.php/mqr/article/view/1517>
- Örs, Z., Taşkın, T. U., Arhan, İ., Doğan, L., Gezer, C., Karakebelioğlu, A. F., & Kesler, M. (2022). Smart street lighting system. *Orclever Proceedings of Research and Development*, 1(1), 188–197. <https://doi.org/10.56038/oprd.v1i1.155>
- Pachas, V., & Yunkor-Romero, A. (2021). *Diseños explicativos y relacionales en investigación científica*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://doi.org/10.35563/unmsm.metodo.2021.01>
- Paredes Villalobos, E. (2021). *Optimización de la generación de energía eléctrica en la localidad de Alto Perú, distrito de Chalamarca, provincia de Chota, Cajamarca, con el software Homer* (Tesis de grado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10175>
- Popa, M., & Cepisca, C. (2011). *Energy Efficiency in Public Lighting Systems*.
- Puma Humpiri, M. A. (2024). *Evaluación de la calidad de alumbrado público de la ciudad de Puno, con la actual implementación de la tecnología LED* (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/21821>

- Rodríguez, M. C. M., & Cabrera, I. P. (2007). Tipos de estudio en el enfoque de investigación cuantitativa. *Enfermería universitaria*, 4(1), 35-38. ISSN: 1665-7063. <https://www.redalyc.org/pdf/3587/358741821004.pdf>
- Sampieri, R., Mendoza, C., & Torres, C. (2022). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (7.^a ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Shaheen, H. I., Yang, B., & Zuo, Y. (2025). *Model predictive control for adaptive energy-efficient street lighting: A comprehensive framework and case study*. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. <https://doi.org/10.1109/TIE.2025.3595989>
- Shen, Y., Li, Y., & Wang, S. (2021). Research on Multi-function Smart Street Lamp Design Based on IoT. *Academic Journal of Engineering and Technology Science*, 4(6), 51–54. <https://doi.org/10.25236/AJETS.2021.040609>
- Silva, N. S. e., Castro, R., & Ferrão, P. (2025). Smart grids in the context of smart cities: A literature review and gap analysis. *Energies*, 18(5), 1186. <https://doi.org/10.3390/en18051186>
- Tamayo y Tamayo, M. (2012). *El proceso de la investigación científica*. Editorial Limusa.
- Torres, J. L., & Ramírez, A. (2020). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos en investigación aplicada*. Fondo Editorial de la Universidad del Zulia.
- Vadi, S. (2025). Design and implementation of an off-grid smart street lighting system using LoRaWAN and hybrid renewable energy for energy-efficient urban infrastructure. *Sensors*, 25(17), 5579. <https://doi.org/10.3390/s25175579>
- Velásquez, C., Espín, F., Castro, M. Á., & Rodríguez, F. (2024). *Energy efficiency in public lighting systems friendly to the environment and protected areas*. *Sustainability*, 16(12), 5113. <https://doi.org/10.3390/su16125113>
- Velásquez, C., Espín, F., Castro, M. Á., & Rodríguez, F. (2024). Energy efficiency in public lighting systems friendly to the environment and protected areas. *Sustainability*, 16(12), 5113. <https://doi.org/10.3390/su16125113>
- Vilchez Cueva, R. (2024). *Implementación de alumbrado público con tecnología LED para*

el centro poblado Cerro Verde – Electropangoa S.A. [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/15040>

Wang, Y., Huang, S., & Guo, C. (2023). Application of smart grid and non-dominated sorting genetic algorithm in adaptive energy-saving control of building lighting. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1202090. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1202090>

Yang, H. Y. (2024). Application of Smart Streetlights in Urban Road Lighting. *Journal of Electronic Research and Application*, 8(3). <https://doi.org/10.26689/jera.v8i3.7209>

ANEXOS

Anexo 01

Ficha de Observación

Diagnóstico del sistema de alumbrado público – Ciudad de San Ignacio

1. Datos Generales

Proyecto: Diseño de redes inteligentes para mejorar la eficiencia del alumbrado público

Lugar de observación: _____

Sector / Tramo evaluado: _____

Fecha: ____ / ____ / 2026

Hora: _____

Observador: _____

Condición climática: _____

2. Dimensión: Infraestructura

Ítem	Indicador observado	Sí	No
2.1	Tipo de luminaria (LED / sodio / mercurio / otro) identificado	☐	☐
2.2	Estado físico del poste (bueno / regular / deficiente)	☐	☐
2.3	Existencia de cableado aéreo visible	☐	☐
2.4	Presencia de daños estructurales en luminarias	☐	☐
2.5	Altura adecuada del poste	☐	☐

3. Dimensión: Operación del Sistema

Ítem	Indicador observado	Sí	No
3.1	Encendido automático en horario nocturno	☐	☐
3.2	Apagado en horario diurno	☐	☐
3.3	Funcionamiento continuo sin parpadeos	☐	☐

3.4 Existencia de control sectorizado ☐ ☐

3.5 Evidencia de sistema de monitoreo inteligente ☐ ☐

4. Dimensión: Consumo Energético (Observación indirecta)

Ítem	Indicador observado	Bajo	Medio	Alto
4.1	Intensidad lumínica respecto a la necesidad real	☐	☐	☐
4.2	Permanencia encendida sin presencia de usuarios	☐	☐	☐
4.3	Sobreiluminación en la zona	☐	☐	☐

5. Dimensión: Nivel de Eficiencia

Ítem	Indicador observado	Adecuado	Regular	Deficiente
5.1	Distribución homogénea de la iluminación	☐	☐	☐
5.2	Cobertura adecuada en zonas peatonales	☐	☐	☐
5.3	Seguridad percibida en la zona iluminada	☐	☐	☐
5.4	Existencia de zonas oscuras	☐	☐	☐

6. Observaciones Generales

7. Valoración Global del Tramo Observado

☐ Sistema eficiente

☐ Sistema parcialmente eficiente

☐ Sistema ineficiente

Justificación Técnica: _____
