



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“Diseño de un generador piezoeléctrico del tipo baldosa,
para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia
en el Paseo Las Musas - Chiclayo”**

Autor:

Bach. Edson Mauricio Cerdan Cespedes

Asesor:

Dr. James Skinner Celada Padilla

LAMBAYEQUE – PERÚ

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICOELECTRICISTA

**“Diseño de un generador piezoeléctrico del tipo baldosa,
para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia
en el Paseo Las Musas - Chiclayo”**

Autor:

Bach. Edson Mauricio Cerdan Cespedes

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE	: Dr. Segundo Abelardo Horna Torres
SECRETARIO	: Dr. Daniel Carranza Montenegro
MIEMBRO	: M.Sc. Teobaldo Julca Orozco
ASESOR	: Dr. James Skinner Celada Padilla

LAMBAYEQUE – PERÚ

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

TÍTULO:

“Diseño de un generador piezoeléctrico del tipo baldosa, para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia en el Paseo Las Musas - Chiclayo”

CONTENIDOS

CAPITULO I	: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.
CAPITULO II	: MARCO TEÓRICO.
CAPITULO III	: MARCO METODOLÓGICO.
CAPITULO IV	: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.
CAPITULO V	: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Bach. Edson Mauricio Cerdan Cespedes

Dr. Segundo Abelardo. Horna Torres
PRESIDENTE

Dr. Daniel Carranza Montenegro
SECRETARIO

M.Sc. Teobaldo Julca Orozco
VOCAL

Dr. James Skinner Celada Padilla
ASESOR

LAMBAYEQUE – PERÚ

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DECANATO



ACTA DE SUSTENTACION N°0167-2026-FIME



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 12:00 a.m. del día viernes 12 de junio 2026. Se reunieron los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°095-2026-D-FIME-UNPRG, de fecha 08 de junio 2026, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Tesis, conformado por los siguientes catedráticos:

- | | |
|--|------------|
| ▪ Dr. Ing. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES | PRESIDENTE |
| ▪ Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO | SECRETARIO |
| ▪ M.Sc. Ing. TEOBALDO EDGAR JULCA OROZCO | MIEMBRO |
| ▪ Dr. Ing. JAMES SKINNER CELADA PADILLA | ASESOR |

Se recibió la Tesis titulada:

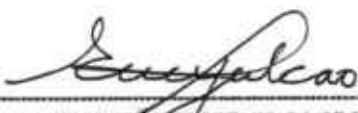
"DISEÑO DE UN GENERADOR PIEZOELÉCTRICO DEL TIPO BALDOSA, PARA ALIMENTAR UN SISTEMA DE ILUMINACION DE BAJA POTENCIA EN EL PASEO LAS MUSAS - CHICLAYO"

Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **CERDAN CESPEDES EDSON MAURICIO.**

Finalizada la sustentación de la Tesis, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota (16) en la escala vigesimal, mención BUENO. Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 13 hrs del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando presente acta el jurado respectivo:


Dr. Ing. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES
PRESIDENTE


M.Sc. Ing. TEOBALDO EDGAR JULCA OROZCO
MIEMBRO


Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO
SECRETARIO


Dr. Ing. JAMES SKINNER CELADA PADILLA
ASESOR

ANEXO 01

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, **Dr. James Skinner Celada Padilla**, usuario revisor del documento titulado: **"DISEÑO DE UN GENERADOR PIEZOELÉCTRICO DEL TIPO BALDOSA, PARA ALIMENTAR UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE BAJA POTENCIA EN EL PASEO LAS MUSAS - CHICLAYO"**.

Cuyo autor es, **Cerdan Céspedes Edson Mauricio**, identificado con documento de identidad **N° 72386933** declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de **12%**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho 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 06 de julio del 2026



.....
DR. JAMES SKINNER CELADA PADILLA

DNI: 16782335

ASESOR

Se adjunta:

*Resumen del Reporte automático de similitudes

*Recibo Digital

REPORTE DEL TURNITIN

Diseño de un generador piezoeléctrico del tipo baldosa, para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia en el Paseo Las Musas - Chiclayo

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%	12%	2%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	glifos.unis.edu.gt Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui Trabajo del estudiante	<1%
7	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%

www.lambayequeturismo.com



Dr. James Skinner Celada Padilla

DNI 16782335

Docente asociado

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

8

Fuente de Internet

<1 %

9

repositorio.unprg.edu.pe:8080

Fuente de Internet

<1 %

10

www.oaxaca.gob.mx

Fuente de Internet

<1 %

11

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

12

repositorio.unitec.edu

Fuente de Internet

<1 %

13

renati.sunedu.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

14

Submitted to Universidad Señor de Sipan

Trabajo del estudiante

<1 %

15

repositorio.unj.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

16

hemerotecadigital.uanl.mx

Fuente de Internet

<1 %

17

www.elistas.net

Fuente de Internet

<1 %

18

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

19

apirepositorio.unh.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %



Dr. James Skinner Celada Padilla

DNI 16782335

Docente asociado

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

20	repositorio.escuelamilitar.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	<1 %
22	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.autonoma.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
26	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
27	www.semanarioexpresion.com Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Exclude assignment Activo
template
Excluir coincidencias < 15 words



Dr. James Skinner Celada Padilla
DNI 16782335
Docente asociado
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

REGISTRO DEL TURNITIN



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: Edson Mauricio Cerdan Cespedes
Título del ejercicio: Revision
Título de la entrega: Diseño de un generador piezoeléctrico del tipo baldosa, para ...
Nombre del archivo: INFORME_FINAL_-_CERDAN_CESPEDES_EDSON_MAUICIO.pdf
Tamaño del archivo: 1.4M
Total páginas: 92
Total de palabras: 15,680
Total de caracteres: 92,743
Fecha de entrega: 18-mar-2026 11:01 a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2906585468



**UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO**

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS
Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**"Diseño de un generador piezoeléctrico del tipo baldosa,
para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia
en el Paseo Las Musas - Chiclayo"**

Autor:

Bach. Edson Mauricio Cerdan Cespedes

Asesor:

Dr. James Skinner Celada Padilla

LAMBAYEQUE – PERÚ

2026

Dr. James Skinner Celada Padilla

DNI 16782335

Docente asociado

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

DEDICATORIA

A mi familia, especialmente a mis padres, Segundo y Carmen, por todo el apoyo brindado durante todos estos años, por alentarme a ser mejor cada día y por enseñarme a superar los obstáculos que se presentan en la vida. A mi hermana, por su cariño, comprensión y apoyo incondicional en cada etapa de mi camino. A mi abuelo Mario, por ser ejemplo de dedicación y pasión por la mecánica, despertando en mí el interés y compromiso por esta profesión. A mi primo David, por compartir sus conocimientos y experiencia, por orientarme con sus consejos y por contribuir a fortalecer mi formación y desarrollo en el ámbito mecánico y profesional.

Bach. Edson Mauricio Cerdan Cespedes

AGRADECIMIENTO

Agradecer A Dios, en primer lugar, por guiar mis pasos, darme fortaleza y permitirme actuar siempre con rectitud.

A mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante a lo largo de mi formación profesional.

A mi asesor, Dr. James Skinner Celada Padilla, por su orientación, conocimientos y valioso acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo.

A las empresas Molino Los Ángeles y Grupo Peramas Sánchez, por brindarme su confianza y la oportunidad de adquirir experiencia y fortalecer mis conocimientos profesionales.

A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo y a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, mi alma mater, por la formación académica y los valores que contribuyeron a mi desarrollo como profesional.

Bach. Edson Mauricio Cerdan Cespedes

RESUMEN

El Paseo Las Musas se ubica en el distrito y provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, a seis cuadras del parque principal. Constituye un espacio urbano emblemático, caracterizado por áreas verdes, esculturas helénicas y un portal ornamental con cariatides, construido entre los años 1994 y 1995 con el objetivo de mejorar el ornato y la calidad de vida de la zona. Actualmente cuenta con iluminación nocturna mediante luminarias LED; sin embargo, la Municipalidad Provincial de Chiclayo asume elevados costos mensuales por el servicio de alumbrado público, los cuales ascienden en promedio a S/ 25 000.

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar un generador piezoeléctrico tipo baldosa para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia en el Paseo Las Musas. Del diagnóstico energético se determinó que el sistema de iluminación existente presenta una potencia instalada de 300 W y un consumo diario de 3,60 kWh. Asimismo, el análisis del flujo vehicular promedio de 5 007 vehículos por día permitió estimar una generación piezoeléctrica aproximada de 13,9 Wh/día, equivalente al 0,39 % de la demanda energética.

El dimensionamiento del sistema evidenció que los módulos piezoeléctricos tipo PZT modelo IPEG son técnicamente adecuados para el aprovechamiento de energía residual, siendo factibles escenarios de cobertura parcial entre el 10 % y 30 %. No obstante, la evaluación económica mostró indicadores financieros desfavorables, concluyéndose que el proyecto no es viable como fuente principal de energía, aunque resulta pertinente como sistema complementario con fines ambientales, tecnológicos y demostrativos

Palabras claves: Generador Piezoeléctrico, Iluminación de baja potencia, energía renovable

ABSTRACT

The Paseo Las Musas is located in the district and province of Chiclayo, in the department of Lambayeque, six blocks from the main park. It is an emblematic urban space, characterized by green areas, Hellenic sculptures, and an ornamental gateway with caryatids, built between 1994 and 1995 to improve the area's appearance and quality of life. Currently, it is illuminated at night by LED lights; however, the Provincial Municipality of Chiclayo incurs high monthly costs for the public lighting service, which average S/ 25,000. This research aimed to design a tile-type piezoelectric generator to power a low-power lighting system in the Paseo Las Musas. The energy audit determined that the existing lighting system has an installed power of 300 W and a daily consumption of 3.60 kWh. Furthermore, the analysis of the average daily traffic flow of 5,007 vehicles allowed for the estimation of an approximate piezoelectric generation of 13.9 Wh/day, equivalent to 0.39% of the energy demand.

The system sizing demonstrated that the IPEG model PZT piezoelectric modules are technically suitable for harnessing residual energy, with partial coverage scenarios between 10% and 30% feasible. However, the economic evaluation showed unfavorable financial indicators, leading to the conclusion that the project is not viable as a primary energy source, although it is relevant as a complementary system for environmental, technological, and demonstrative purposes.

Keywords: Piezoelectric Generator, Low-power Lighting, Renewable Energy.

ÍNDICE

ACTA DE SUSTENTACIÓN	4
CARTA DE ORIGINALIDAD	5
REPORTE DEL TURNITIN	6
REGISTRO DEL TURNITIN	7
DEDICATORIA	8
AGRADECIMIENTO	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
ÍNDICE	12
ÍNDICE DE TABLAS	14
ÍNDICE DE FIGURAS	15
INTRODUCCIÓN	16
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	18
1.1. Realidad Problemática.....	18
1.2. Formulación del Problema	21
1.3. Delimitación de la Investigación	21
1.4. Justificación e Importancia del estudio.....	22
1.5. Limitaciones de la Investigación.....	23
1.6. Objetivos de estudio	23
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	25
2.1. Antecedentes de Estudios.....	25
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado	43
□ Ecuaciones Constitutivas	¡Error! Marcador no definido.
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	44
3.1. Tipo y diseño de investigación	44
3.2. Población y muestra.....	44
3.3. Técnicas de muestreo	44
3.4. Hipótesis	45
3.5. Variables - Operacionalización	45
3.6. Métodos y Técnicas de investigación	47
3.7. Descripción de los instrumentos utilizados	47
3.8. Análisis Estadístico e interpretación de los datos	48

CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS ...	49
4.1. Diagnóstico de la energía y potencia que requiere el sistema de iluminación de baja potencia en el Paseo Las Musas	49
4.2. Potencial de energía como consecuencia de la transitabilidad de los vehículos en el Paseo Las Musas	51
4.3. Calculo y selección de los componentes del sistema de Producción de electricidad mediante la Tecnología Piezoeléctrica	57
4.4. Evaluación económica que implica el sistema de Producción de electricidad mediante la Tecnología Piezoeléctrica en el Paseo Las Musas - Chiclayo	73
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
5.1. Conclusiones.....	81
5.2. Recomendaciones	82
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS	83
ANEXOS.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	46
Tabla 2: Potencia necesaria para la iluminación decorativa del Paseo Las Musas	50
Tabla 3: Energía generada por acceso	54
Tabla 4: Características eléctricas	58
Tabla 5: Características Mecánicas.....	58
Tabla 6: Características Físicas	58
Tabla 7: Dimensionamiento por escenarios de cobertura	60
Tabla 8: Resumen del dimensionamiento	68
Tabla 9: Selección de marcas y modelos de los componentes del sistema piezoeléctrico .	73
Tabla 10: Costos del sistema piezoeléctrico	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de los puntos de iluminación propuestos en el Paseo Las Musas	49
Figura 2: Características de la Farola tipo LED	50
Figura 3: Lugares donde se realizó el Aforo Vehicular.....	52
Figura 4: Cantidad de Autos que circulan en el Paseo Las Musas	53
Figura 5: Diagrama unifilar del sistema	71

INTRODUCCIÓN

La iluminación en un paseo es crucial tanto desde el punto de vista funcional como emocional. La iluminación adecuada en un paseo mejora la seguridad al reducir el riesgo de accidentes y delincuencia, facilitando la movilidad de personas con discapacidad visual o movilidad reducida. La exposición a la luz natural durante el día es vital para la salud mental y física. Un estudio publicado en *Nature Mental Health* encontró que la exposición a la luz natural diurna reduce el riesgo de depresión y otros trastornos mentales. Además, la luz natural ayuda a regular los ritmos circadianos, mejorando el estado de ánimo y la calidad del sueño. (Calvillo Cortés, 2010). La iluminación urbana puede influir en las emociones de los observadores, generando una respuesta emocional que afecta la valoración de los espacios urbanos y el bienestar emocional. Un diseño de iluminación que considere aspectos emocionales puede mejorar la experiencia del visitante y del ciudadano. La iluminación puede resaltar elementos arquitectónicos y naturales, creando un ambiente atractivo y acogedor. Esto no solo mejora la estética del lugar, sino que también puede aumentar el aprecio por el espacio urbano.

.

En el primer capítulo se discute el problema a solucionar que es alimentar un sistema de iluminación de baja potencia en el Paseo Las Musas - Chiclayo. Esto da como resultado la creación del objetivo general y la propuesta de los objetivos específicos para lograrlo.

Los antecedentes, que incluyen estudios realizados sobre el tema y que sustentan la alternativa de solución planteada en esta tesis, se presentan en el Capítulo II. Así mismo, se presenta la teoría relacionada con el objeto de la investigación.

El tercer capítulo explica cómo se recopilará y procesará la información, así como

las herramientas que se utilizarán.

El cuarto capítulo se presenta los resultados alcanzados, y la selección de los equipos, el cálculo del costo del sistema planificado y la evaluación de indicadores financieros.

Las conclusiones y sugerencias se exponen en el quinto capítulo.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

La generación eléctrica mediante dispositivos piezoeléctricos presenta diversas problemáticas que limitan su implementación y eficiencia a nivel global. A continuación, se detallan las principales dificultades asociadas con esta tecnología. Uno de los problemas más significativos de la generación piezoeléctrica es su baja densidad de potencia. La cantidad de energía que se puede generar por cada paso o movimiento es relativamente pequeña, lo que limita su uso a aplicaciones de bajo consumo. Por ejemplo, se estima que la energía generada por un solo paso es insuficiente para alimentar dispositivos que requieren mayor potencia, como electrodomésticos o sistemas industriales. La instalación de sistemas piezoeléctricos, como baldosas en áreas de alto tráfico, implica un costo inicial elevado. Esto incluye no solo el precio de los materiales piezoeléctricos, sino también el costo de los circuitos necesarios para recolectar y almacenar la electricidad generada. Además, el mantenimiento constante es crucial para asegurar su funcionamiento eficiente, lo que representa un gasto adicional a largo plazo. La escalabilidad de la tecnología piezoeléctrica es otro desafío importante. Aunque puede ser efectiva en áreas con alta afluencia de personas, su capacidad para generar energía a gran escala es limitada en comparación con otras fuentes renovables como la solar o eólica. Esto plantea dudas sobre su viabilidad como solución principal para la generación de energía sostenible. La falta de conciencia pública sobre los beneficios y el funcionamiento de la energía piezoeléctrica puede dificultar su adopción. Muchas personas no están familiarizadas con esta tecnología y pueden ser escépticas sobre su efectividad, lo que puede limitar la inversión tanto pública como privada en proyectos relacionados. Para superar las limitaciones actuales, es fundamental invertir en investigación y desarrollo. La mejora en los materiales

piezoeléctricos y en las técnicas de recolección de energía podría aumentar la eficiencia y reducir costos. Sin embargo, esto requiere una colaboración efectiva entre gobiernos, universidades y el sector privado para fomentar innovaciones significativas. (Cardozo Gutiérrez & Tamayo Zapata, 2024)

La generación eléctrica mediante dispositivos piezoeléctricos en Perú enfrenta diversas problemáticas que limitan su desarrollo y efectividad. A continuación, se presentan las principales dificultades identificadas en el contexto peruano. La tecnología piezoeléctrica es aún poco conocida en Perú, lo que resulta en una falta de conciencia sobre sus beneficios y aplicaciones. Esto puede llevar a una baja aceptación social y a la escasa inversión en proyectos que utilicen esta tecnología, limitando su implementación en áreas donde podría ser efectiva, como plazas públicas y estaciones de transporte. Aunque algunos estudios indican que los proyectos piezoeléctricos pueden ser económicamente viables, los costos iniciales de implementación siguen siendo una barrera significativa. La inversión requerida para instalar sistemas como baldosas piezoeléctricas puede ser alta, y aunque el retorno de inversión puede ser atractivo a largo plazo, la necesidad de un capital inicial puede desincentivar a potenciales inversores. La eficiencia en la generación de energía piezoeléctrica es otro desafío. Los sistemas actuales generan cantidades relativamente pequeñas de energía, lo que limita su uso a aplicaciones de bajo consumo. Esto plantea interrogantes sobre su capacidad para contribuir significativamente a la matriz energética del país, especialmente en comparación con otras fuentes renovables más eficientes como la solar o eólica. La escalabilidad de los proyectos piezoeléctricos es limitada. Aunque se han realizado estudios en lugares con alto tránsito peatonal, como estaciones de tren o plazas públicas, la capacidad para expandir estos proyectos a gran escala sigue siendo un reto. La necesidad de identificar ubicaciones adecuadas donde el

flujo de personas sea constante es crucial para maximizar la generación de energía. A pesar del potencial que ofrece la tecnología piezoeléctrica, hay una falta de investigación y desarrollo en el país. La escasez de estudios previos limita la comprensión del funcionamiento óptimo y las mejores prácticas para implementar sistemas piezoeléctricos eficaces. Esto afecta directamente la capacidad del país para innovar y mejorar las tecnologías existentes. El crecimiento demográfico y económico del Perú genera una creciente demanda energética que podría no ser satisfecha únicamente mediante tecnologías emergentes como la piezoelectricidad. La dependencia actual de fuentes no renovables plantea un riesgo adicional si no se diversifica adecuadamente la matriz energética. (Concha Reátegui & Zamalloa Rubina, 2024)

El Paseo Las Musas, ubicado en el distrito y provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, ubicado a 6 cuadras del parque principal, se encuentra adornado de jardines con bellas flores y cuyo principal atractivo es un monumento de rotondas ornamentadas con esculturas helénicas. Cuando se llega al Paseo Las Musas, se observa primero un portal que es sostenido por cuatro cariatides de aproximadamente cinco metros de altura, sobre la cual está el lema “Heroica Ciudad de Chiclayo”. Este hermoso paseo fue construido en el periodo de gobierno de Arturo Castillo Chirinos, durante los años 1994-1995; con la finalidad de mejorar el ornato de la ciudad y la calidad de vida de la urbanización existente en esa zona. Es además el lugar ideal elegido por los niños para jugar, pasear en bicicleta, practicar deporte y más. A la fecha cuenta con iluminación por la noche, la misma que es acorde con el lugar donde se brinda el servicio, además las lámparas empleadas son del tipo LED. Los pagos que la Municipalidad Provincial de Chiclayo, realiza por el servicio público de iluminación a la concesionaria ELECTRONORTE SA son demasiados altos, en promedio mensual de S/.25 000.00.

Los factores que intervienen a que se siga pagando excesivos montos por el servicio público de electricidad, es que no se cuenta con un suministro propio de electricidad, lo que originaría de seguir pagando dichos montos elevados.

De no solucionar este problema traerá consigo que la Municipalidad Provincia de Chiclayo, continúe realizando pagos onerosos a la empresa ELECTRONORTE SA, y de esta forma se siga endeudando por cuanto el presupuesto para realizar dichos pagos no alcanza.

Las variables a estudiar son: *Generador piezoeléctrico del tipo baldosa y Sistema de iluminación de baja potencia.*

1.2. Formulación del Problema

¿Es factible alimentar un sistema de iluminación de baja potencia mediante un generador piezoeléctrico del tipo baldosa en el Paseo Las Musas - Chiclayo?

1.3. Delimitación de la Investigación

La delimitación temporal corresponde al período de desarrollo del estudio, comprendido entre los meses de enero a diciembre de 2026, durante los cuales se realizarán el diseño, modelamiento, simulación y evaluación del sistema propuesto.

Desde el punto de vista temático y técnico, la investigación se limita al diseño de un generador piezoeléctrico tipo baldosa, considerando el aprovechamiento de la energía mecánica producida por el tránsito vehicular para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia, específicamente luminarias LED para áreas peatonales.

Asimismo, el estudio se restringe al análisis eléctrico, mecánico y energético del sistema, incluyendo la estimación de la potencia generada, el acondicionamiento eléctrico (rectificación, regulación y almacenamiento), y la evaluación de su factibilidad técnica. No se aborda el análisis económico-financiero a gran escala ni la implementación masiva del sistema en otros espacios urbanos.

1.4. Justificación e Importancia del estudio

La presente investigación se justifica desde los enfoques técnico, social, ambiental y académico.

Desde el punto de vista técnico, el diseño de un generador piezoeléctrico tipo baldosa permite aprovechar la energía mecánica generada por el tránsito vehicular en espacios públicos de alta afluencia, transformándola en energía eléctrica para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia. Esta alternativa contribuye a diversificar las fuentes de generación energética y promueve el uso de tecnologías innovadoras aplicadas a sistemas eléctricos urbanos.

Desde la perspectiva ambiental, la propuesta fomenta el uso de energías renovables no convencionales, reduciendo la dependencia de la red eléctrica convencional y contribuyendo a la disminución de emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica a partir de fuentes fósiles, en concordancia con los principios de sostenibilidad y eficiencia energética.

En el ámbito social, la implementación de sistemas de iluminación autosostenibles en el Paseo Las Musas de Chiclayo mejora la seguridad ciudadana y el confort de los peatones, especialmente en horarios nocturnos, sin incrementar el consumo energético

municipal, beneficiando directamente a la comunidad local.

Finalmente, desde el enfoque académico y científico, la investigación aporta al desarrollo de conocimientos aplicados en el campo de la ingeniería mecánica y eléctrica, sirviendo como referencia para futuros estudios sobre sistemas de generación piezoeléctrica aplicada a infraestructuras urbanas, y fortaleciendo la formación profesional mediante el diseño e integración de tecnologías emergentes.

1.5. Limitaciones de la Investigación

La presente investigación presenta como limitaciones que el estudio se restringe al diseño y evaluación a pequeña escala de un generador piezoeléctrico tipo baldosa, sin considerar su implementación masiva ni su conexión a la red eléctrica pública; además, la energía generada es de baja potencia y dependiente del flujo vehicular, por lo que el sistema se limita al abastecimiento de luminarias LED de bajo consumo. Asimismo, no se desarrolla un análisis económico-financiero detallado, el estudio se circunscribe únicamente al Paseo Las Musas de la ciudad de Chiclayo, y la evaluación se realiza en un periodo temporal limitado, basada principalmente en modelos teóricos, simulaciones y pruebas de laboratorio, sin considerar el desempeño del sistema en condiciones reales de operación a largo plazo.

1.6. Objetivos de estudio

1.6.1. Objetivo General

Diseñar de un generador piezoeléctrico del tipo baldosa, para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia en el Paseo Las Musas – Chiclayo.

1.6.2. Objetivo Específicos

- Realizar un diagnóstico de la energía y potencia que requiere el sistema de iluminación de baja potencia en el Paseo Las Musas.
- Determinar el potencial de energía como consecuencia de la transitabilidad de los vehículos en el Paseo Las Musas.
- Calcular y seleccionar los componentes del sistema de Producción de electricidad mediante la Tecnología Piezoeléctrica.
- Determinar la evaluación económica que implica el sistema de Producción de electricidad mediante la Tecnología Piezoeléctrica en el Paseo Las Musas - Chiclayo

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

2.1.1. A nivel Internacional

En Ecuador, Chandi Andrango, (2023), realizó el estudio “Desarrollo de cerámica piezoeléctrica para recolección de energía del tránsito peatonal y vehicular en Cruce Cebra”, En el entorno actual que estamos viviendo, la generación de energía eléctrica se fundamenta en gran medida en el uso de fuentes de energía que no son renovables. Esto incluye recursos como el carbón y otros tipos de combustibles fósiles que han sido explotados y utilizados a lo largo de la historia para cubrir nuestras necesidades energéticas. Esto significa que la mayor parte de la electricidad que utilizamos en nuestra vida diaria proviene de fuentes energéticas que, desafortunadamente, no pueden rejuvenecer o regenerarse de manera natural dentro de un período de tiempo que se considere razonable. Se ha reconocido de manera clara y contundente que existe una necesidad apremiante de realizar investigaciones y llevar a cabo el desarrollo de innovadores sistemas de generación de energía que sean suficientemente eficientes y efectivos para satisfacer el aumento constante y significativo de la demanda energética que estamos experimentando en la actualidad. La creciente demanda que estamos observando se está incrementando de manera directa y acorde con el constante aumento de la población a nivel global. Este fenómeno resalta aún más la necesidad urgente de encontrar soluciones que sean tanto efectivas como sostenibles, lo cual es de suma importancia en la actualidad y en el futuro cercano. Como consecuencia del continuo aumento de la población, además de la creciente movilidad de las personas y el uso diversificado de medios de transporte, que incluyen tanto vehículos motorizados como opciones de transporte no motorizadas, se está descuidando una valiosa y significativa oportunidad. Esta

oportunidad podría ser aprovechada a partir del esfuerzo mecánico que se genera al caminar o al utilizar estos diversos vehículos de desplazamiento. Este esfuerzo mecánico, si se maneja y se organiza correctamente, tiene el potencial de transformarse en energía eléctrica que sea no solo limpia, sino también sostenible en el largo plazo. Esta conversión tendría un impacto positivo en el medio ambiente, ya que contribuiría a disminuir nuestra dependencia de fuentes de energía que son nocivas y contaminantes para nuestro planeta. La explicación que fundamenta cómo la cantidad de energía que se produce está directamente vinculada al número de personas o vehículos que circulan a lo largo de la carretera se debe a que, cuando hay un incremento en el volumen de tráfico, se produce una mayor generación de energía. En resumen, es importante destacar que la investigación que se realizó ha brindado un conocimiento amplio y detallado acerca de un enfoque particular que se conoce como Energy Harvesting, el cual se refiere, en términos generales, a la práctica de captar y utilizar de manera efectiva la energía que se encuentra disponible en nuestro entorno natural. La atención centrada en esta investigación ha estado dirigida a realizar un análisis detallado sobre la manera en que el movimiento de individuos que caminan, así como de diversos tipos de vehículos, puede ser aprovechado como posibles fuentes de energía mecánica. Este estudio se ocupa de analizar en profundidad las diversas fases involucradas en la conversión de esa energía específica, así como la manera en que puede ser utilizada de manera óptima y eficiente. Además, también investiga las diferentes estrategias y métodos a través de los cuales esta energía puede ser almacenada, permitiendo su uso posterior en forma de energía eléctrica. Gracias a los meticulosos y exhaustivos esfuerzos de investigación que se han realizado en el fascinante campo de los materiales piezoeléctricos, se ha logrado adquirir un profundo conocimiento que revela la

existencia de una amplia gama de materiales que pueden ser utilizados de manera efectiva para este propósito específico. Tras realizar un análisis minucioso y exhaustivo, se tomó la decisión de elegir la cerámica piezoeléctrica, ya que posee características técnicas destacadas que mejoran significativamente su habilidad para producir energía eléctrica de manera eficiente. Asimismo, resulta fundamental señalar que este tipo específico de cerámica se halla fácilmente disponible dentro del territorio nacional, lo cual no solo contribuye a su accesibilidad, sino que también permite su utilización sin mayores complicaciones. El proceso de creación y desarrollo del diseño del prototipo tuvo que realizarse considerando, de manera cuidadosa, tanto las dimensiones específicas como las características únicas de los diferentes elementos y dispositivos que se eligieron cuidadosamente para ser incluidos en este proyecto en particular. Como consecuencia de este proceso, se llevó a cabo el desarrollo de un modelo que presenta características de gran compacidad y que, además, muestra una simetría notable, asegurando al mismo tiempo que se mantienen las distancias apropiadas y correctas entre todos y cada uno de los componentes que lo integran. Esta metodología ha sido implementada con la intención de alcanzar una mejora considerable en la efectividad y eficiencia operativa del prototipo en cuestión. Para ejecutar adecuadamente este proceso, se empleó un software altamente eficaz y poderoso, conocido en el ámbito del diseño asistido por computadora como AutoCAD. Este programa demostró ser de inmensa utilidad, ya que proporcionó las herramientas necesarias que facilitaron la creación de una amplia variedad de diseños de manera eficiente y efectiva. Esta herramienta facilitó la selección del diseño que resultó ser el más óptimo para nuestras necesidades y, después de haber tomado esa decisión, permitió proceder con el ensamblado de la estructura que estábamos evaluando. Para poder realizar el diseño de un circuito

electrónico, así como también el diseño del circuito impreso que es comúnmente denominado como PCB, se hizo uso de un software especializado conocido con el nombre de Proteus, el cual es ampliamente utilizado en este ámbito debido a sus diversas funcionalidades. En el marco del modelo que se ha elaborado y perfeccionado a lo largo de este estudio, se ha optado por la opción de implementar una conexión en paralelo entre los dispositivos piezoeléctricos, con el fin de optimizar su rendimiento y funcionamiento. La razón por la cual se ha tomado esta decisión es que esos dispositivos funcionan dentro de un rango que puede considerarse casi estático. Tal como se ha detallado y expuesto en las secciones que hemos revisado anteriormente, en el contexto que estamos analizando, se producen variaciones significativas en el voltaje que pueden ser tanto de naturaleza positiva como negativa. Esta característica específica que se observa en el comportamiento del voltaje enfatiza de manera significativa la importancia de utilizar puentes de diodos, ya que son fundamentales para lograr una correcta rectificación de la señal generada. Para este tipo particular de aplicaciones que requieren características específicas, se sugiere encarecidamente optar por la utilización de dispositivos piezoeléctricos que presenten un área transversal reducida o más pequeña. La razón de esto radica en que un diseño que incorpora una disminución en la superficie del área permite la creación de picos de voltaje que son considerablemente más elevados, lo que a su vez se traduce en una mejora significativa en el rendimiento general del sistema. En esta circunstancia específica, se utilizaron dispositivos piezoeléctricos que tienen un diámetro de 35 milímetros, los cuales fueron seleccionados por sus características técnicas adecuadas para la aplicación en cuestión. Un elemento que tiene una importancia significativa está vinculado al total de dispositivos piezoeléctricos que se integran en el sistema que se está considerando. El sistema que

se desarrolló con el propósito de ser puesto en funcionamiento ha sido diseñado de manera minuciosa y específica, garantizando así que su implementación no demande llevar a cabo trabajos de construcción civil. Además, este enfoque elimina la necesidad de trasladar equipos o instalaciones que ya están ubicados en su sitio original, facilitando una puesta en marcha más eficiente y sin complicaciones logísticas. La meta principal de esta estrategia es optimizar al máximo el aprovechamiento del área de entrada en su estado actual, sin llevar a cabo ninguna intervención que implique cambios físicos importantes. Durante el transcurso del proceso de implementación del equipo diseñado específicamente para la generación, se puso un énfasis significativo en la importancia de emplear software de código abierto, así como en la adopción de dispositivos que son económicamente accesibles y de bajo costo. Un excelente ejemplo que ilustra este concepto es la implementación del entorno de desarrollo integrado conocido como Arduino IDE, junto con el uso de la placa Arduino Mega, así como del módulo de tarjeta SD diseñado para Arduino. Esta decisión en cuanto a la tecnología utilizada ha facilitado la obtención de resultados que son verdaderamente excepcionales, siendo particularmente notables en sectores fundamentales como la programación de software y la recopilación de datos. Asimismo, uno de los beneficios más destacados y significativos que se derivaron de esta elección fue, sin duda alguna, la posibilidad de poder llevar a cabo el proyecto de manera eficiente y efectiva, sin la necesidad de incurrir en gastos que fueran considerados excesivos o innecesarios. (Chandi Andrango, 2023)

En Ecuador, Lalvay Lalvay, (2023), en el trabajo de investigación “Diseño de un colector de energía piezoeléctrico aprovechando la circulación de vehículos en

estructuras pavimentadas”, La finalidad de la investigación que se está realizando en el presente momento consiste en diseñar y crear un sistema completamente nuevo y revolucionario para la recolección de energía piezoeléctrica. Este sistema innovador operará de manera eficiente aprovechando la presión total que se genera como resultado del paso y circulación de vehículos sobre superficies que han sido pavimentadas. Se lleva a cabo la identificación y un análisis detallado de las múltiples circunstancias y factores que podrían presentarse al emplear el colector en el proceso de generación de electricidad. Se están realizando múltiples experimentos en un ambiente controlado de laboratorio, los cuales se enfocan específicamente en las estructuras pavimentadas. El propósito de estos ensayos es simular y examinar el comportamiento del recolector de manera más comprensible al estudiarlo en una escala reducida. Se realiza un análisis meticuloso y detallado de la factibilidad, cuyo propósito principal es establecer si el proyecto es viable y factible, especialmente en relación con su futura implementación en aquellas rutas y caminos que muestran un alto nivel de tráfico vehicular. Para llevar a cabo el proceso de investigación de manera efectiva y metódica, se utiliza el método inductivo, un enfoque que se distingue por su notable habilidad para inferir y formular conclusiones generales basadas en un análisis de observaciones específicas y particulares. Este procedimiento se lleva a cabo siguiendo un enfoque que combina de manera armoniosa tanto los métodos cualitativos como los cuantitativos. Esta integración es fundamental, ya que facilita una comprensión mucho más exhaustiva y profunda del fenómeno que se está investigando. Además, el ámbito de la investigación abarca tanto un enfoque descriptivo como un enfoque correlacional. Esto implica que el objetivo no es únicamente detallar las características distintivas de la muestra en cuestión, sino que también se pretende identificar y examinar las posibles

interrelaciones y conexiones que podrían existir entre las diversas variables que están implicadas en el estudio. Los resultados obtenidos de la investigación sugieren de manera clara que es posible aprovechar al máximo la funcionalidad ofrecida por este sistema, utilizando dispositivos o equipos que funcionan a una tensión de 12 voltios en un contexto de corriente continua. La razón detrás de esto radica en el hecho de que en la Ciudad de Cuenca se está observando un incremento notable en el número de vehículos livianos que circulan, lo cual, a su vez, contribuye a que la implementación de esta medida sea más efectiva y beneficiosa. La energía que se produce durante este proceso es cuidadosamente capturada y almacenada de forma eficiente en sistemas de baterías. Esta energía almacenada puede ser utilizada para cubrir las variadas necesidades energéticas de una amplia gama de dispositivos. Entre estos dispositivos se incluyen foto radares, que son utilizados para la detección y el control del tráfico, así como sistemas electrónicos de señalización que son esenciales para la seguridad vial. También se utiliza para alimentar luminarias de baja carga, que desempeñan un papel importante en la iluminación pública, así como en el funcionamiento de otros aparatos eléctricos y electrónicos que forman parte de nuestra vida diaria. (Lalvay Lalvay, 2023)

En Colombia, Parra Quiroga & Martin Martin, (2023), en la investigación “Diseño de un prototipo de baldosa con propiedades piezoeléctricas para su aplicación en vías de acceso peatonal en la Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio”, El objetivo principal de este proyecto de grado es abordar y proponer soluciones concretas a dos problemáticas importantes que tienen un impacto significativo en la Universidad Cooperativa de Colombia, con un énfasis particular en su sede que se encuentra en la ciudad de Villavicencio. Las cuestiones

mencionadas son, en primer lugar, la evidente falta de innovación y avances significativos en el sector de las energías renovables, lo que representa un gran desafío para el desarrollo sostenible. Y, en segundo lugar, se encuentra la carencia de una iluminación adecuada y suficiente en las diversas rutas peatonales que permiten el acceso al campus universitario, lo cual puede afectar la seguridad y comodidad de quienes transitan por esas áreas. En un contexto global en el que no solo se promueve de manera elocuente, sino que también se apoya de forma activa la transición hacia fuentes de energía que sean más amigables con el medio ambiente y sostenibles a largo plazo, el presente trabajo sugiere y pone sobre la mesa la idea de implementar baldosas piezoeléctricas. Esta propuesta se presenta como una solución innovadora y de alcance mundial que responde de manera integral a las crecientes necesidades energéticas que enfrentamos en la actualidad. La ausencia de propuestas innovadoras y de vanguardia para la implementación de fuentes de energía limpias pone de manifiesto una notable deficiencia en el entorno actual que rodea a las universidades. El propósito fundamental que guía este proyecto es hacer frente a la brecha que actualmente existe en el ámbito específico en el que estamos trabajando, y con el fin de alcanzar este objetivo, se sugiere la implementación y el uso de tecnologías de vanguardia que puedan facilitar y mejorar este proceso. En particular, este estudio o proyecto se centra en la incorporación y el uso de baldosas piezoeléctricas, las cuales son un tipo específico de material que posee la capacidad de generar electricidad a través de la aplicación de presión. Esta tecnología representa un avance innovador y notable en la búsqueda de soluciones energéticas que sean más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Este enfoque no solo se enfocará en aumentar la seguridad de los peatones al abordar de manera eficiente la cuestión de la falta de iluminación en áreas de acceso, sino que también ofrecerá el

beneficio extra de integrar una fuente de energía que se caracterice por ser tanto renovable como sostenible en el centro del campus universitario. Esto, a su vez, fomentará una perspectiva más ecológica y segura para todos aquellos que utilizan y transitan por ese espacio a diario. La elección de las baldosas piezoeléctricas no se lleva a cabo de forma casual o aleatoria; más bien, esta selección está fundamentada en criterios muy específicos. Estos dispositivos innovadores gozan de un amplio reconocimiento debido a su destacada capacidad para generar energía de manera eficiente, así como por su naturaleza respetuosa con el medio ambiente, que contribuye a la sostenibilidad y al uso consciente de los recursos. La puesta en marcha de esta instalación no solo estaría en consonancia con las normativas y estándares técnicos que han sido establecidos específicamente para las zonas destinadas al tránsito de peatones, sino que, además, presentaría una oportunidad sumamente valiosa para que la Universidad tome la iniciativa y asuma un rol protagónico en la promoción y el fortalecimiento de un entorno que, a su vez, sea considerablemente más ecológico y también más eficiente en cuanto a su operatividad. El detallado y minucioso análisis técnico que se llevará a cabo dentro del contexto de este ambicioso proyecto se enfocará en una amplia variedad de factores y componentes que son esenciales para su éxito. Este proceso abarca de manera integral no solo la meticulosa y cuidadosa selección de aquellos materiales que posean la capacidad necesaria para conducir energía piezoeléctrica de manera eficiente, sino que también implica una evaluación detallada y exhaustiva de la viabilidad económica y social que podría relacionarse con la posible implementación y adopción de dichas baldosas en la práctica cotidiana. Se realizará una investigación minuciosa y ampliamente detallada que se enfocará en estudiar la eficacia y el rendimiento de las baldosas piezoeléctricas, las cuales se emplean como dispositivos

para la generación de energía a partir de la presión que ejercen las personas al caminar sobre ellas. Adicionalmente, se llevará a cabo una evaluación exhaustiva de la sostenibilidad del proyecto a lo largo del tiempo, así como un análisis detallado de su capacidad para recuperar los costos iniciales que fueron invertidos en su implementación. Este proyecto no se restringe solamente a la tarea de identificar, enfrentar y solucionar las dificultades y los problemas que surgen de manera inmediata en el campus. Por el contrario, también tiene como meta primordial el establecimiento de bases firmes y sólidas que sean capaces de favorecer y facilitar el desarrollo de iniciativas sostenibles en otras instituciones educativas en un futuro cercano. Al asumir un papel proactivo y líder en la implementación de esta significativa transformación, la Universidad Cooperativa de Colombia, particularmente en su sede ubicada en Villavicencio, se encuentra en una excelente y ventajosa posición que le permite destacarse como una verdadera pionera en la adopción de prácticas que son, sin duda, más sostenibles, conscientes y responsables respecto al uso de los recursos que tiene a su disposición. De esta manera, su ejemplo podrá servir de inspiración para que otras instituciones educativas puedan replicar su modelo y seguir el rumbo que ella ha establecido con tanto acierto. (Parra Quiroga & Martin Martin, 2023)

A nivel nacional

En Jaén, Vega Bobadilla, (2020), en su trabajo “Generación de energía piezoeléctrica en la plaza de armas de Jaén-Perú para iluminación y servicios wifi público”, El estudio de investigación que se desarrollará en las líneas siguientes tiene como principal objetivo analizar y profundizar en la utilización eficaz y productiva de la energía piezoeléctrica. Para ello, se ha implementado un enfoque

novedoso que consiste en un método avanzado de recolección de energía. Este método aprovecha una red distribuida que ha sido meticulosamente diseñada con el propósito específico de captar y almacenar esta particular forma de energía utilizando baterías. Esta metodología proporciona una valiosa oportunidad para presentar e implementar una nueva alternativa que contribuirá de manera significativa a la generación de fuentes de energía que sean tanto limpias como sostenibles. En el marco de esta situación específica, la motivación más significativa que guía y da impulso al desarrollo de esta investigación se basa en la clara intención de establecer un servicio público que no solo se dedique a la provisión de energía, sino que también tenga como objetivo vital el fomentar la sensibilización y la toma de conciencia entre la población sobre cuán crucial e imperativo es el uso de energías renovables, así como los múltiples beneficios que estas pueden aportar a nuestra sociedad y al medio ambiente. Tomando en cuenta todas las reflexiones y análisis realizados previamente, se llegó a la conclusión de que un lugar que resulta ser extremadamente apropiado y adecuado para la ejecución del plan establecido es la Plaza de Armas, que se encuentra situada en la ciudad de Jaén. Esta selección se basa en el hecho de que dicho lugar, a lo largo de todo el día, experimenta un significativo y constante flujo tanto de personas como de vehículos, lo que lo transforma en un punto crucial y estratégico para llevar a cabo la iniciativa propuesta. Se realizó un minucioso y detallado estudio que abarcó tanto la transitabilidad de los peatones como la de los vehículos. Este análisis se llevó a cabo con el propósito de determinar cuál es la zona más apropiada y conveniente para facilitar el flujo de tránsito. A lo largo de un mes completo, se llevó a cabo un registro metódico y detallado de las diversas categorías de tráfico que se presentaron en esa área particular. Como consecuencia de esta minuciosa y exhaustiva evaluación llevada a cabo en la zona, se

registró un total impresionante de 35,334 peatones que se movieron a pie por el área, además de 317 ciclistas que utilizaron sus bicicletas, 316,724 motociclistas que se trasladaron en sus motos, 19,355 automóviles que circularon por las vías y un total de 32,988 camionetas de tipo pick up que también hicieron uso de este espacio. Los datos que se han mencionado anteriormente fueron utilizados de manera efectiva para realizar tanto el cálculo como el análisis detallado en relación con la generación de energía piezoeléctrica. Como consecuencia de este detallado proceso, se logró alcanzar una capacidad de generación de energía que asciende a un impresionante total de 18,975.60 kilovatios hora cada año. Todo este proceso se lleva a cabo mediante una inversión total que alcanza un monto que se eleva a la suma de S/. La suma de dinero en cuestión asciende a un total impresionante de 18,9756.00, lo que significa que estamos hablando de un ahorro considerable que puede expresarse en la moneda S/. Se espera que se obtenga un ingreso anual que asciende a un total de 9,413.79, además de un retorno de inversión que se calcula en aproximadamente un 3.7 por ciento cada año. El sistema que se está detallando incluirá también un total de ocho baterías que se encontrarán interconectadas en una configuración paralela, lo cual se llevará a cabo con el fin de asegurar un suministro de energía que sea tanto eficiente como confiable. Con el fin de manejar la energía de forma adecuada y eficiente, se procederá a la instalación de un regulador de carga que corresponde al modelo STECA PR 10^a. Esta acción tiene como objetivo optimizar la distribución y el uso de la energía disponible. Además de lo mencionado, se dispondrá de un inversor que posee una impresionante capacidad de carga de 1.5 kilovatios. Esta capacidad permitirá la conversión de la corriente continua que ha sido almacenada previamente en las baterías, transformándola en corriente alterna que se puede utilizar de manera efectiva. Una vez más, se reitera con énfasis que la realización de

proyectos destinados a la generación de energía renovable en espacios públicos que cuentan con un considerable aflujo de personas no se concibe únicamente para cumplir con la demanda energética actual que está asociada a las aplicaciones previamente mencionadas. Esto implica que hay otros factores y objetivos que también se están considerando en el contexto de estos proyectos. Por otro lado, el objetivo principal de estas iniciativas se centra en dar una presentación clara y efectiva del concepto de energía renovable. Además, buscan crear una mayor conciencia entre la población acerca de la factibilidad de estas opciones energéticas y, al mismo tiempo, resaltar la creciente necesidad de adoptar este tipo de fuentes de energía que son renovables y sostenibles. (Vega Bobadilla, 2020)

En Trujillo, Cardenas Ramirez, 2022, en el proyecto de investigación “Configuración, material y eficiencia de sistemas piezoeléctricos para la generación de energía eléctrica”, El estudio de investigación que se desarrollará en las líneas siguientes tiene como principal objetivo analizar y profundizar en la utilización eficaz y productiva de la energía piezoeléctrica. Para ello, se ha implementado un enfoque novedoso que consiste en un método avanzado de recolección de energía. Este método aprovecha una red distribuida que ha sido meticulosamente diseñada con el propósito específico de captar y almacenar esta particular forma de energía utilizando baterías. Esta metodología proporciona una valiosa oportunidad para presentar e implementar una nueva alternativa que contribuirá de manera significativa a la generación de fuentes de energía que sean tanto limpias como sostenibles. En el marco de esta situación específica, la motivación más significativa que guía y da impulso al desarrollo de esta investigación se basa en la clara intención de establecer un servicio público que no solo se dedique a la provisión de energía,

sino que también tenga como objetivo vital el fomentar la sensibilización y la toma de conciencia entre la población sobre cuán crucial e imperativo es el uso de energías renovables, así como los múltiples beneficios que estas pueden aportar a nuestra sociedad y al medio ambiente. Tomando en cuenta todas las reflexiones y análisis realizados previamente, se llegó a la conclusión de que un lugar que resulta ser extremadamente apropiado y adecuado para la ejecución del plan establecido es la Plaza de Armas, que se encuentra situada en la ciudad de Jaén. Esta selección se basa en el hecho de que dicho lugar, a lo largo de todo el día, experimenta un significativo y constante flujo tanto de personas como de vehículos, lo que lo transforma en un punto crucial y estratégico para llevar a cabo la iniciativa propuesta. Se realizó un minucioso y detallado estudio que abarcó tanto la transitabilidad de los peatones como la de los vehículos. Este análisis se llevó a cabo con el propósito de determinar cuál es la zona más apropiada y conveniente para facilitar el flujo de tránsito. A lo largo de un mes completo, se llevó a cabo un registro metódico y detallado de las diversas categorías de tráfico que se presentaron en esa área particular. Como consecuencia de esta minuciosa y exhaustiva evaluación llevada a cabo en la zona, se registró un total impresionante de 35,334 peatones que se movieron a pie por el área, además de 317 ciclistas que utilizaron sus bicicletas, 316,724 motociclistas que se trasladaron en sus motos, 19,355 automóviles que circularon por las vías y un total de 32,988 camionetas de tipo pick up que también hicieron uso de este espacio. Los datos que se han mencionado anteriormente fueron utilizados de manera efectiva para realizar tanto el cálculo como el análisis detallado en relación con la generación de energía piezoeléctrica. Como consecuencia de este detallado proceso, se logró alcanzar una capacidad de generación de energía que asciende a un impresionante total de 18,975.60 kilovatios hora cada año. Todo este proceso se lleva a cabo

mediante una inversión total que alcanza un monto que se eleva a la suma de S/. La suma de dinero en cuestión asciende a un total impresionante de 18,9756.00, lo que significa que estamos hablando de un ahorro considerable que puede expresarse en la moneda S/. Se espera que se obtenga un ingreso anual que asciende a un total de 9,413.79, además de un retorno de inversión que se calcula en aproximadamente un 3.7 por ciento cada año. El sistema que se está detallando incluirá también un total de ocho baterías que se encontrarán interconectadas en una configuración paralela, lo cual se llevará a cabo con el fin de asegurar un suministro de energía que sea tanto eficiente como confiable. Con el fin de manejar la energía de forma adecuada y eficiente, se procederá a la instalación de un regulador de carga que corresponde al modelo STECA PR 10^a. Esta acción tiene como objetivo optimizar la distribución y el uso de la energía disponible. Además de lo mencionado, se dispondrá de un inversor que posee una impresionante capacidad de carga de 1.5 kilovatios. Esta capacidad permitirá la conversión de la corriente continua que ha sido almacenada previamente en las baterías, transformándola en corriente alterna que se puede utilizar de manera efectiva. Una vez más, se reitera con énfasis que la realización de proyectos destinados a la generación de energía renovable en espacios públicos que cuentan con un considerable aflujo de personas no se concibe únicamente para cumplir con la demanda energética actual que está asociada a las aplicaciones previamente mencionadas. Esto implica que hay otros factores y objetivos que también se están considerando en el contexto de estos proyectos. Por otro lado, el objetivo principal de estas iniciativas se centra en dar una presentación clara y efectiva del concepto de energía renovable. Además, buscan crear una mayor conciencia entre la población acerca de la factibilidad de estas opciones energéticas y, al mismo tiempo, resaltar la creciente necesidad de adoptar este tipo de fuentes de

energía que son renovables y sostenibles. (Cardenas Ramirez, 2022)

Locales

En Chiclayo Manayay Flores, 2020, en la investigación “Sistema de iluminación mediante baldosas con generadores piezoeléctricos para reducir el consumo de energía eléctrica en la discoteca Tarima – Chiclayo”, La investigación fue llevada a cabo con el propósito específico de disminuir el uso de energía eléctrica en el sistema de iluminación tipo LED de la discoteca conocida como TARIMA, mediante la implementación de baldosas equipadas con generadores piezoeléctricos que convierten la energía mecánica en energía eléctrica. Para alcanzar este objetivo se empleó una metodología rigurosa que se clasifica como de tipo aplicativo, la cual se caracteriza por su enfoque tecnológico. Además, se decidió utilizar un diseño no experimental para realizar el estudio. En cuanto a la selección de la muestra, esta se llevó a cabo utilizando la técnica del muestreo no probabilístico, un enfoque que fue adoptado por el autor de la investigación. La recopilación de información se llevó a cabo mediante la implementación de diversas técnicas, específicamente a través de la observación cuidadosa y la realización de entrevistas, utilizando para cada una de estas metodologías sus correspondientes herramientas y dispositivos de medición adecuados. El proceso de investigación comienza con un detallado análisis que se centra en el consumo de electricidad asociado al sistema de iluminación que se utiliza en la pista de baile de la discoteca. Como resultado de este análisis, se ha determinado que el consumo de energía es de aproximadamente 0.8 kilovatios hora (KWh). A continuación, se establecen y analizan con detenimiento los parámetros eléctricos asociados a los generadores piezoeléctricos, en los cuales se observa que cada uno de los elementos es capaz de generar una tensión de 11.26 voltios de

corriente continua (CC) y es capaz de proporcionar una corriente de 1 miliamperio (mA). Una vez transcurrido ese proceso, se procede a la selección y el modelado de los diferentes componentes que conforman las baldosas piezoeléctricas, utilizando para ello un software especializado en diseño asistido por computadora, comúnmente conocido como software CAD. Finalmente, se lleva a cabo la evaluación económica del proyecto, lo que da como resultado un Valor Actual Neto (VAN) de S/1,153.86 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 17%. Estos resultados indican que el proyecto es viable y factible para su implementación. (Manayay Flores, 2020)

En Chilclayo, Hernandez Nuñez & Sanjinez Guevara, 2022, la investigación “Factibilidad de central eléctrica en base a baldosas piezoeléctricas para iluminación de una plaza de armas”, El estudio de investigación que se presenta en este documento tiene como objetivo evaluar y demostrar la viabilidad de la implementación de una central eléctrica que funciona específicamente mediante baldosas piezoeléctricas, las cuales están diseñadas para proporcionar energía destinada a la iluminación de una plaza de armas. El concepto fundamental de esta tecnología radica en la utilización efectiva de la energía piezoeléctrica. Esto se logra mediante un innovador método de cosecha de energía que se implementa a través de una red distribuida diseñada específicamente para este propósito. Esta red se encarga de recolectar la energía generada y almacenarla eficientemente en baterías, lo que permite la aplicación de una nueva y prometedora forma de generación de energías limpias y sostenibles. En este contexto, la razón fundamental que impulsa el desarrollo de esta investigación radica en la necesidad de establecer un servicio público que, al mismo tiempo, tenga como objetivo educar y concientizar a la población sobre la importancia y los beneficios del uso de fuentes de energía

renovables. En consecuencia, se llegó a la conclusión de que un sitio adecuado para llevar a cabo la implementación de este proyecto es en alguna de las plazas de armas, específicamente en el caso de la localidad de Chiclayo. Esto se debe a que estas plazas representan espacios que son altamente concurridos tanto por personas como por vehículos a lo largo de todo el día. Se llevó a cabo una exhaustiva evaluación del flujo tanto de peatones como de vehículos, lo que permitió identificar la ubicación más idónea para el tránsito. En esta zona seleccionada, se efectuó un registro de las actividades durante un día específico. Los datos mencionados anteriormente fueron empleados en el proceso de cálculo relacionado con la generación de energía piezoeléctrica. A partir de este análisis, se estableció la oferta energética, que también se conoce como la Producción Piezoeléctrica conjunta. Este cálculo es fundamental, ya que permite determinar un valor aproximado de la energía producida en un día típico, que en este caso es de 108.59 kilovatios hora por día (Kwhr/día). Se llevó a cabo una evaluación económica del sistema de generación, y como resultado de este análisis, se encontró que la Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanzó un impresionante 35.80%, mientras que el Valor Actual Neto (VAN) resultó en una cifra expresada en la moneda local, es decir, en soles peruanos (S/). El monto total asciende a 11,549.34, teniendo en cuenta el retorno de la inversión realizado, así como también el gasto asociado al mantenimiento anual, que se estima en S/. El costo total se estima en 2106.00, y se prevé que sea necesario realizar un cambio de baterías alrededor de los 8 años. Esto se debe al tipo específico de conexión que se ha implementado, ya que esta conexión particular tiende a reducir la esperanza de vida promedio de las baterías, que generalmente sería de 10 años, a un período más corto de 8 años. Estos datos son cruciales porque reflejan la viabilidad económica general del proyecto. Al analizar el retorno de la inversión, se ha llegado a la conclusión de

que el tiempo estimado para recuperar dicha inversión es de aproximadamente 2.49 años, lo cual se considera un lapso de tiempo aceptable y viable desde el punto de vista económico. (Hernandez Nuñez & Sanjinez Guevara, 2022)

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

- **Piezoelectricidad:** “En 1880, Jacques y Pierre Curie descubrieron que al aplicar presión a un cristal de cuarzo se establecían cargas eléctricas en éste; a este fenómeno ellos llamaron el efecto piezoeléctrico” (Cúpich y Elizondo, 2000, p.22).
- **Efecto Piezoeléctrico Directo:** CENIDET (2002) señala: “El efecto piezoeléctrico directo, se presenta cuando una fuerza o vibración mecánica en el piezoeléctrico genera una diferencia potencial o tensión eléctrica entre sus terminales” (Sotelo y Nieto, 2018, p. 21).

- **Materiales Piezoeléctricos**

Los materiales más comunes utilizados en la generación de electricidad piezoeléctrica incluyen el titanato de bario (BaTiO_3) y el titanato de plomo zirconato (PZT). Estos materiales exhiben alta sensibilidad y eficiencia en la conversión de energía mecánica en eléctrica.

Aplicaciones

Las aplicaciones de la generación de electricidad piezoeléctrica incluyen sistemas de iluminación de baja potencia, señalización, y dispositivos portátiles que aprovechan la energía cinética para generar electricidad. Las baldosas piezoeléctricas son un ejemplo de cómo se pueden utilizar estos materiales para generar energía a partir del movimiento de personas

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación: Aplicada

La investigación aplicada tiene por objetivo la generación de conocimiento con aplicación directa y a mediano plazo en la sociedad o en el sector productivo. En esta situación se utilizará el conocimiento del generador piezoeléctrico del tipo baldosa para ofrecer una solución alternativa a los problemas ya presentes el sistema de iluminación de baja potencia en el Paseo Las Musas - Chiclayo.

3.1.2. Diseño de investigación: No experimental

Podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables.

3.2. Población y muestra

La población: Lo constituyen la iluminación de baja potencia del Paseo Las Musas.

La muestra: Está constituida por Lo constituyen la iluminación de baja potencia del Paseo Las Musas.

3.3. Técnicas de muestreo

Como consecuencia de que la muestra es una muestra poblacional, no se empleará ninguna técnica de muestreo.

3.4. Hipótesis

Mediante el diseño de un generador piezoeléctrico del tipo baldosa, se logra alimentar un sistema de iluminación de baja potencia en el Paseo Las Musas - Chiclayo.

3.5. Variables - Operacionalización

X: Variable independiente: Sistema de iluminación de baja potencia

Y: Variable dependiente: Generador piezoeléctrico del tipo baldosa

Tabla 1.
Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	instrumentos
Independientes						
Sistema de iluminación de baja potencia	sistemas que operan a tensiones más bajas que la tensión de línea estándar, generalmente utilizando voltajes como 12 V o 24 V. (Cardozo Gutiérrez & Tamayo Zapata, 2024)	Primero determinamos la cantidad de luminarias Luego se determina la potencia eléctrica y la energía que requiere este tipo de iluminación	Características técnicas	Potencia Eléctrica (kW) Energía producida (kW-h)	Recopilación de información	Ficha de recopilación de información
Dependientes						
Generador piezoeléctrico del tipo baldosa	Dispositivo que utiliza materiales piezoeléctricos para convertir la energía mecánica generada por las pisadas en energía eléctrica. (Ibáñez García, 2012)	Se determina la cantidad de persona que transitan. Luego se selecciona el piezoeléctrico a emplear.	Gastos de energía	Flujo vehicular (número de vehículos) Peso (kg)	Recopilación de información	Ficha de recopilación de información

3.6. Métodos y Técnicas de investigación

Técnicas

Búsqueda de información bibliográfica

Consiste en la localización de las referencias bibliográficas, sobre algún tema concreto, extraídas de diferentes fuentes de información.

La búsqueda de información bibliográfica es un elemento esencial para evaluar la importancia de la pregunta de investigación y la escogencia del tipo de diseño del estudio. También nos ayuda a aprender de los errores o limitaciones de los estudios previos que, por lo general, son enunciados por sus propios autores en la sección de discusión, o bien, en la correspondencia que se genera luego de la publicación de un artículo. (Arguedas, 2009).

Búsqueda de información de campo

Es aquella en la que los datos se recolectan o provienen directamente de los sujetos investigados o de la realidad en la que ocurren los hechos (datos primarios). Sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. (Fidias G., 2006, pág. 31).

3.7. Descripción de los instrumentos utilizados

Se emplearon las siguientes herramientas y están directamente relacionadas con los métodos:

Ficha de búsqueda de información bibliográfica

Es una ficha pequeña que solo debe usarse para registrar información de un libro o artículo. Estos archivos se crean para todas las publicaciones, no solo aquellas que se han descubierto o leído físicamente, que en algún momento pueden

resultar útiles para nuestra investigación. (Galtung, 1969, pág. 603).

Ficha de recolección de datos

Nos permite recoger datos obtenidos mediante la observación directa.

Contienen la información descriptiva obtenida del trabajo de campo que se realiza tomando nota de la realidad social o natural. Ésta ficha nos permitirá identificar y categorizar temas comunes en relación al problema del estudio.

3.8. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

Tiene como objetivo el examinar un grupo de información con la finalidad de adquirir conclusiones acerca de los datos, para poder tomar decisiones.

En la presente investigación se recopiló datos de los consumos de energía eléctrica del sistema de iluminación de baja potencia en el Paseo Las Musas - Chiclayo, para luego ser analizado mediante la estadística descriptiva. La estadística descriptiva comprende en obtener las frecuencias, las medidas de tendencia central y de dispersión de los datos obtenidos.

Dichos datos se agruparon en rangos y se analizaron haciendo uso de la media aritmética, lo que nos permitió determinar la confiabilidad de cada una de las unidades. La media aritmética es la medida estadística de tendencia central más significativa. La diferencia entre el valor más alto y el valor más bajo sirve como base para calcular el rango, que expresa el ancho de los valores de los datos.

CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Diagnóstico de la energía y potencia que requiere el sistema de iluminación de baja potencia en el Paseo Las Musas

El Paseo Las Musas ya dispone de un sistema de iluminación básico que permite la visibilidad durante la noche, sin embargo, carece de un tipo de iluminación ornamental que añada un toque estético y atractivo. Con este trabajo de investigación, estamos proponiendo la incorporación de dicho tipo de iluminación decorativa.

Los lugares específicos que se sugieren para la instalación de puntos de iluminación son:

Figura 1:

Ubicación de los puntos de iluminación propuestos en el Paseo Las Musas



● Puntos de Iluminación propuestos

Nota: Elaboración propia

Con el objetivo de cumplir con esta necesidad, se ha optado por seleccionar una luminaria de tipo esférico específicamente diseñada para el alumbrado público, la cual cuenta con una base de rosca E27 y tiene un tamaño aproximado de 35 centímetros. Las características detalladas de esta luminaria se presentan en la figura

siguiente:

Figura 2:

Características de la Farola tipo LED

FAROLA LED TIPO ESFERA DE ACRÍLICO Y ACRÍLICO PAVONADO PARA EXTERIORES	
POTENCIA	HASTA 50W
FLUJO LUMINOSO	HASTA 5000LM (+/-10%)
T° COLOR	6500K (LUZ BLANCA) 3000K (LUZ CÁLIDA)
ROSCA	E27 - E35 - E40
BASE INGRESO POSTE	2.5" o 4" *OPCIONAL ACOPLER PARA EMBONE DE 4" o 5" DE ALUMINIO
CABLE	VULCANIZADO 2X16 CON TOMA A TIERRA
OTRAS CARACTERÍSTICAS	· BASES Y BRAZOS EN ACERO FUNDIDO · TAPAS Y CONTRATAPAS DE ALUMINIO REPUJADO · PINTURA ELECTROSTÁTICA AL HORNO · COLOR NEGRO, GRIS CLARO, GRIS Y ALUMINIO
INCLUYE BASE CON PERNOS PARA SUJECIÓN A POSTE	

Nota: www.lifestore.pe

Se ha tomado la decisión de establecer la colocación de un total de seis luminarias en el Paseo Las Musas, conforme a lo que se muestra en la figura 1, de ahí que la potencia necesaria para la iluminación será:

Tabla 2:

Potencia necesaria para la iluminación decorativa del Paseo Las Musas

Punto de Iluminación	Lámpara (W)	Cantidad	Potencia Total (W)
1	50	1	50
2	50	1	50
3	50	1	50
4	50	1	50
5	50	1	50
6	50	1	50
Total (W)			300

Nota: Elaboración propia

El diagnóstico energético del sistema de iluminación decorativa del Paseo Las Musas se realizó a partir del análisis de la potencia instalada y el consumo de energía

eléctrica diaria. Según la Tabla 2, el sistema está conformado por seis puntos de iluminación, cada uno equipado con una lámpara de 50 W, lo que da como resultado una potencia total instalada de 300 W. Esta potencia se distribuye de manera uniforme, garantizando un nivel de iluminación homogéneo a lo largo del paseo.

El horario de funcionamiento del sistema de iluminación comprende un periodo de 12 horas continuas, desde las 18:00 hasta las 06:00 horas del día siguiente. Bajo estas condiciones, el consumo diario de energía eléctrica del sistema asciende a 3,60 kWh/día, valor obtenido a partir del producto de la potencia total instalada (0,3 kW) por el tiempo de operación diario (12 h). Asimismo, de manera individual, cada luminaria presenta un consumo energético de 600 Wh por día, lo que permite identificar claramente la demanda energética por punto de iluminación.

Este diagnóstico permite establecer la magnitud real de la energía y potencia requeridas por el sistema de iluminación de baja potencia, constituyendo una base técnica fundamental para el posterior cálculo y selección de los componentes del sistema de producción de electricidad mediante tecnología piezoeléctrica, asegurando que la energía generada sea compatible con la demanda del sistema instalado.

4.2. Potencial de energía como consecuencia de la transitabilidad de los vehículos en el Paseo Las Musas

Se llevó a cabo un estudio que consistió en contar el número de vehículos que circulan por el Paseo Las Musas a lo largo de una semana, con el objetivo de determinar cuántos automóviles transitan por esa área cada día.

Figura 3:

Lugares donde se realizó el Aforo Vehicular

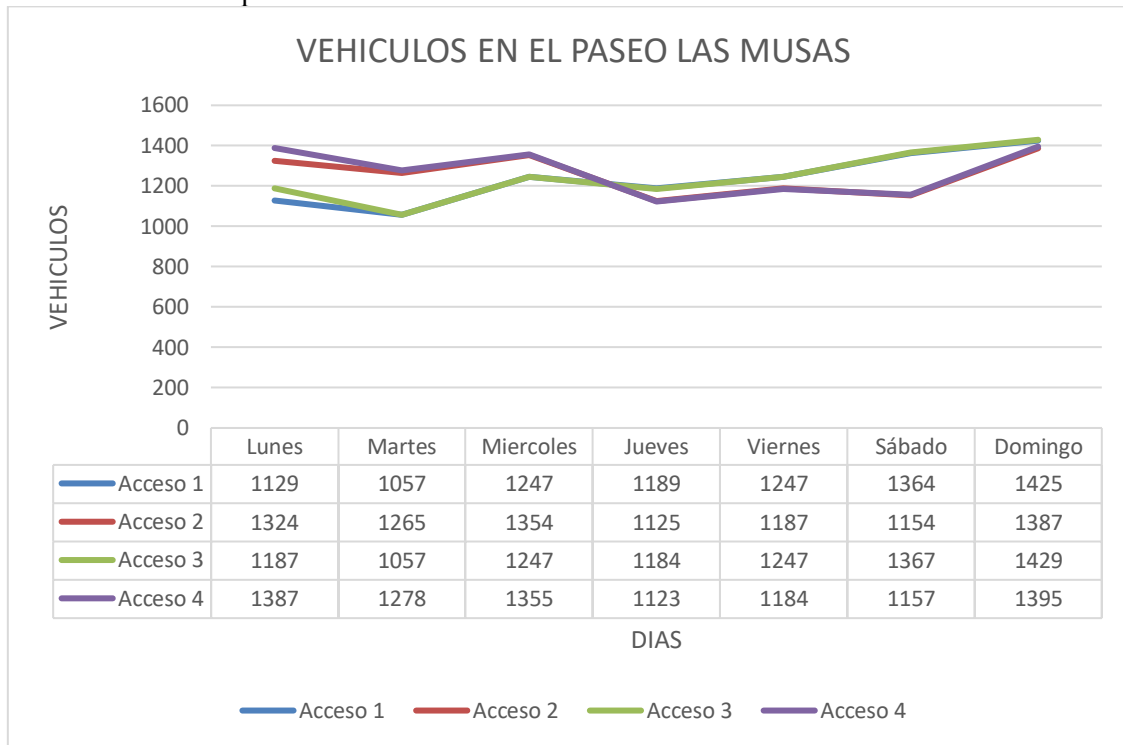


Nota: Elaboración propia

Como se puede observar claramente en la representación gráfica conocida como Figura 3, se puede destacar que alrededor del Paseo Las Musas hay aproximadamente dos pistas que permiten el tránsito de vehículos. Todos los vehículos son de menor tamaño.

En las siguientes líneas, se presentarán los resultados correspondientes al aforo vehicular que hemos realizado.

Figura 4:
Cantidad de Autos que circulan en el Paseo Las Musas



Nota: Elaboración propia

A. Cuantificación del potencial energético generado por transitabilidad vehicular

a. Flujo vehicular promedio diario

A partir de la tabla presentada, se calcula el **promedio diario de vehículos** por acceso durante la semana:

- **Acceso 1:** $\approx 1\,237$ vehículos/día
- **Acceso 2:** $\approx 1\,257$ vehículos/día
- **Acceso 3:** $\approx 1\,245$ vehículos/día
- **Acceso 4:** $\approx 1\,268$ vehículos/día

Flujo vehicular total promedio diario:

$$N_{veh} = 1237 + 1257 + 1245 + 1268 = 5\,007 \text{ vehículos/día}$$

b. Supuesto de energía generada por vehículo

Según estudios experimentales sobre dispositivos piezoeléctricos aplicados a tránsito vehicular, un módulo piezoeléctrico instalado en pavimento puede generar entre 5 y 20 joules por paso de vehículo, dependiendo del peso y velocidad.

Para un enfoque conservador y realista, se adopta:

$$E_{veh} = 10 \text{ J/vehículo}$$

Conversión a Wh:

$$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$$

$$E_{veh} = \frac{10}{3600} = 0,00278 \text{ Wh/vehículo}$$

c. Energía eléctrica generada por día

La energía diaria total generada es:

$$E_{día} = N_{veh} \times E_{veh}$$

$$E_{día} = 5007 \times 0,00278 = 13,9 \text{ Wh/día}$$

d. Energía generada por acceso (referencial)

Tabla 3:

Energía generada por acceso

Acceso	Vehículos/día	Energía generada (Wh/día)
Acceso 1	1237	3,44
Acceso 2	1257	3,49
Acceso 3	1245	3,46
Acceso 4	1268	3,52
Total	5007	13,9

Nota: Elaboración propia

e. Análisis del potencial energético

La energía generada diariamente mediante tecnología piezoeléctrica en el Paseo Las Musas alcanza aproximadamente **13,9 Wh/día**, valor que, si bien es reducido frente al consumo total del sistema de iluminación (3,6 kWh/día), resulta técnicamente aprovechable para:

- Alimentación parcial del sistema de iluminación decorativa

- Carga de baterías auxiliares
- Sistemas de señalización, sensores o iluminación LED de ultra baja potencia

Este resultado confirma que la tecnología piezoeléctrica es **complementaria** y no sustitutiva de la red eléctrica convencional, siendo su mayor valor el aprovechamiento de energía residual proveniente del tránsito vehicular.

B. Comparación del potencial energético piezoeléctrico con la demanda del sistema de iluminación

a. Demanda energética del sistema de iluminación

De acuerdo con el diagnóstico energético realizado para el Paseo Las Musas, el sistema de iluminación decorativa presenta las siguientes características:

- **Potencia total instalada:** 300 W
- **Tiempo de operación diario:** 12 h (18:00 – 06:00)

La energía eléctrica demandada diariamente es:

$$E_{demanda} = 300 \text{ W} \times 12 \text{ h} = 3600 \text{ Wh/día}$$

Es decir, el sistema de iluminación requiere **3,6 kWh por día** para su funcionamiento continuo.

b. Potencial energético generado por transitabilidad vehicular

A partir del análisis del flujo vehicular promedio diario (5 007 vehículos/día) y considerando una generación conservadora de **0,00278 Wh por vehículo**, la energía eléctrica generada mediante tecnología piezoeléctrica es:

$$E_{piezo} = 13,9 \text{ Wh/día}$$

c. Comparación directa demanda vs generación

La relación entre la energía generada y la energía demandada se expresa como:

$$\text{Cobertura} = \frac{E_{\text{piezo}}}{E_{\text{demanda}}} \times 100$$

$$\text{Cobertura} = \frac{13,9}{3600} \times 100 = 0,39\%$$

d. Análisis comparativo

El sistema piezoeléctrico propuesto permitiría cubrir aproximadamente el 0,39 % de la demanda energética diaria del sistema de iluminación del Paseo Las Musas. Este resultado evidencia que, bajo las condiciones actuales de tránsito vehicular y con una estimación conservadora de generación por vehículo, la energía obtenida no es suficiente para abastecer de manera total el sistema de iluminación.

No obstante, el aporte energético generado resulta técnicamente viable como **fuentes complementaria**, especialmente para:

- Alimentar luminarias LED de ultra baja potencia
- Cargar bancos de baterías para respaldo energético
- Abastecer sistemas auxiliares como sensores, señalización o control

Asimismo, la instalación estratégica de módulos piezoeléctricos en los accesos con mayor flujo vehicular permitiría maximizar la captación de energía, incrementando la eficiencia global del sistema propuesto.

e. Conclusión del análisis comparativo

La comparación directa entre el potencial energético piezoeléctrico y la demanda del sistema de iluminación confirma que la tecnología piezoeléctrica, en el contexto del Paseo Las Musas, debe ser considerada como una solución complementaria de generación distribuida, orientada al aprovechamiento de energía residual del tránsito vehicular y no como una fuente principal de suministro eléctrico.

4.3. Calculo y selección de los componentes del sistema de Producción de electricidad mediante la Tecnología Piezoeléctrica

A. Características del módulo piezoeléctrico empleado

El sistema de generación eléctrica propuesto emplea módulos piezoeléctricos de tipo cerámico, diseñados para aplicaciones de captación de energía a partir de esfuerzos mecánicos producidos por el tránsito vehicular. Estos módulos convierten la energía mecánica generada por la presión y vibración del pavimento en energía eléctrica de corriente alterna.

- **Marca** : Innowattech
- **Modelo** : IPEG (Innowattech Piezo Electric Generator)
- **País de origen** : Israel
- **Aplicación** : Generación de energía eléctrica a partir del tránsito vehicular

a. Tipo de módulo piezoeléctrico

- **Tecnología** : Cerámica piezoeléctrica (PZT – Titanato Zirconato de Plomo)
- **Modo de operación** : Compresión directa
- **Aplicación** : Captación de energía por cargas dinámicas (tránsito vehicular)

b. Características eléctricas

Tabla 4:

Características eléctricas

Parámetro	Valor típico
Voltaje de salida (en vacío)	20 – 80 V AC (variable)
Voltaje de salida nominal	12 – 24 V AC
Corriente nominal	5 – 20 mA
Potencia promedio por módulo	2 – 5 mW
Energía generada por paso vehicular	≈ 10 J
Tipo de señal	Corriente alterna variable

Nota: Innowattech

La salida eléctrica depende directamente de la magnitud de la carga aplicada, la velocidad del vehículo y la frecuencia de excitación.

c. Características mecánicas

Tabla 5:

Características Mecánicas

Parámetro	Valor
Carga máxima soportada	5 – 10 toneladas
Desplazamiento máximo	≤ 1 mm
Frecuencia de operación	1 – 100 Hz
Vida útil estimada	> 10 ⁷ ciclos
Tipo de encapsulado	Acero reforzado / polímero de alta resistencia
Carga máxima soportada	5 – 10 toneladas

Nota: Innowattech

Los módulos están diseñados para soportar cargas repetitivas sin deformaciones permanentes, lo que los hace aptos para instalación en zonas de tránsito continuo.

d. Características físicas

Tabla 6: Características Físicas

Características Físicas

Parámetro	Valor
Dimensiones típicas	300 × 300 × 50 mm
Peso aproximado	8 – 12 kg
Grado de protección	IP67
Temperatura de operación	–10 °C a 60 °C

Nota: Innowattech

e. Configuración eléctrica del módulo

- Conexión interna: discos piezoeléctricos en serie y paralelo
- Salida acondicionada mediante:
 - ✓ Puente rectificador
 - ✓ Filtro capacitivo
 - ✓ Regulador de carga

Esta configuración permite elevar el voltaje y la corriente de salida, optimizando la transferencia de energía hacia el banco de baterías.

f. Ventajas del módulo seleccionado

- Aprovecha energía residual del tránsito vehicular
- No genera emisiones contaminantes
- Bajo mantenimiento
- Alta durabilidad mecánica
- Integración sencilla con sistemas de almacenamiento

g. Limitaciones del módulo piezoeléctrico

- Baja potencia unitaria
- Alta dependencia del flujo vehicular
- Requiere acondicionamiento electrónico
- Uso recomendado como fuente complementaria

B. Dimensionamiento del número de módulos piezoeléctricos necesarios

a. Energía diaria a cubrir

Del diagnóstico del sistema de iluminación del Paseo Las Musas se tiene:

- Energía demandada por el sistema de iluminación:

$$E_{demanda} = 3\,600 \text{ Wh/día}$$

- Energía generada actualmente por el tránsito vehicular (1 módulo por carril):

$$E_{piezo,actual} = 13,9 \text{ Wh/día}$$

b. Capacidad de generación de un módulo piezoeléctrico

De acuerdo con literatura técnica y aplicaciones experimentales en pavimento, un módulo piezoeléctrico estándar instalado en vía vehicular puede generar aproximadamente:

- Energía por paso de vehículo: 10 J
- Equivalente energético:

$$E_{veh} = \frac{10}{3600} = 0,00278 \text{ Wh/vehículo}$$

Con un flujo promedio de 5 007 vehículos/día, la energía generada por un módulo es:

$$E_{módulo} = 13,9 \text{ Wh/día}$$

c. Número de módulos requeridos para cubrir el 100 % de la demanda

El número total de módulos piezoeléctricos necesarios se calcula como:

$$N = \frac{E_{demanda}}{E_{módulo}}$$

$$N = \frac{3600}{13,9} \approx 259 \text{ módulos}$$

d. Dimensionamiento por escenarios de cobertura

Dado que cubrir el 100 % de la demanda únicamente con tecnología piezoeléctrica resulta poco realista, se plantean escenarios de cobertura parcial:

Tabla 7:

Dimensionamiento por escenarios de cobertura

Cobertura de la demanda	Energía requerida (Wh/día)	N° de módulos
10 %	360	26
20 %	720	52
30 %	1080	78
50 %	1800	130
100 %	3600	259

Nota: Elaboración propia

e. Distribución recomendada de los módulos

Considerando los cuatro accesos del Paseo Las Musas y el flujo vehicular similar en cada uno, una distribución técnica equilibrada sería:

- Acceso 1: 25 %
- Acceso 2: 25 %
- Acceso 3: 25 %
- Acceso 4: 25 %

Para un escenario del 20 % de cobertura (52 módulos):

- 13 módulos por acceso

Esta disposición permite maximizar la captación de energía y reducir la concentración de esfuerzos mecánicos sobre un solo punto del pavimento.

f. Análisis técnico del dimensionamiento

El dimensionamiento realizado evidencia que la implementación de un sistema de generación eléctrica basado exclusivamente en tecnología piezoeléctrica para abastecer la totalidad del sistema de iluminación no resulta técnica ni económicamente viable. Sin embargo, la instalación de un número reducido de módulos permite cubrir una fracción significativa de la demanda, aportando energía limpia y renovable como complemento del suministro convencional.

Este sistema puede integrarse con bancos de baterías y sistemas de control para el almacenamiento y gestión eficiente de la energía generada, reforzando la sostenibilidad energética del Paseo Las Musas.

g. Conclusión del dimensionamiento

Se concluye que, para cubrir parcialmente la demanda energética del sistema de

iluminación del Paseo Las Musas, se requieren entre 26 y 78 módulos piezoeléctricos para aportes del 10 % al 30 %, respectivamente, siendo estos escenarios los más viables desde el punto de vista técnico y operativo.

C. Dimensionamiento del banco de baterías del sistema piezoeléctrico

a. Energía diaria a almacenar

Del dimensionamiento previo:

- **Demanda total de iluminación:**

$$E_{total} = 3\,600 \text{ Wh/día}$$

- **Cobertura seleccionada (20 %):**

$$E_{piezo} = 0.20 \times 3\,600 = 720 \text{ Wh/día}$$

Esta es la energía que el sistema piezoeléctrico debe almacenar diariamente en el banco de baterías para su posterior uso.

b. Autonomía del sistema

Para garantizar continuidad del servicio ante variaciones del tránsito vehicular, se considera una autonomía de:

- **Autonomía:** 1 día

$$E_{autonomía} = 720 \text{ Wh}$$

c. Parámetros de diseño del banco de baterías

Marca y modelo de referencia

- Marca: Trojan Battery Company
- Modelo referencial: Trojan T-105 (o equivalente)
- Tipo: Batería de ciclo profundo

- Tecnología: Plomo-ácido (Flooded / Gel, según disponibilidad)
- País de origen: Estados Unidos

Se adoptan criterios estándar de diseño:

- Voltaje nominal del sistema: 12 V
- Profundidad máxima de descarga (DoD): 50 %
- Tipo de batería: Batería de ciclo profundo (plomo-ácido o gel)

d. Capacidad requerida del banco de baterías

La capacidad en amperio-hora (Ah) se calcula mediante:

$$C_{Ah} = \frac{E_{autonomía}}{V \times DoD}$$

$$C_{Ah} = \frac{720}{12 \times 0,5}$$

$$C_{Ah} = 120 \text{ Ah}$$

e. Selección del banco de baterías

Se seleccionan baterías comerciales estándar:

- Batería: 12 V – 100 Ah
- Energía nominal por batería:

$$E = 12 \times 100 = 1\,200 \text{ Wh}$$

Considerando el 50 % de descarga útil:

$$E_{útil} = 600 \text{ Wh/batería}$$

f. Número de baterías requeridas

$$N_{bat} = \frac{720}{600} = 1,2$$

Se selecciona:

- **2 baterías de 12 V – 100 Ah**, conectadas en paralelo

Esto proporciona:

- **Capacidad total:** 200 Ah
- **Energía útil almacenada:**

$$E_{\text{útil},\text{total}} = 1\,200\text{ Wh}$$

Lo que garantiza holgura operativa y mayor vida útil del sistema.

g. Configuración del banco de baterías

- **Configuración:** Paralelo
- **Voltaje del banco:** 12 V
- **Capacidad total:** 200 Ah

Esta configuración es adecuada para sistemas de baja potencia y facilita la integración con reguladores de carga e inversores de pequeña escala.

h. Análisis técnico del dimensionamiento

El banco de baterías dimensionado permite almacenar la energía generada por los módulos piezoeléctricos durante el día y suministrarla durante el horario nocturno de funcionamiento del sistema de iluminación. Asimismo, el uso de una profundidad de descarga limitada al 50 % contribuye a prolongar la vida útil de las baterías y asegurar un funcionamiento confiable del sistema.

i. Conclusión del dimensionamiento del banco de baterías

Se concluye que, para un escenario de cobertura del **20 % de la demanda energética**, el sistema requiere un banco de baterías compuesto por **dos baterías de 12 V y**

100 Ah, lo que garantiza una capacidad suficiente de almacenamiento, operación segura y compatibilidad con el sistema de generación piezoeléctrica propuesto.

j. Justificación de la selección de la marca

La batería **Trojan** es seleccionada como referencia debido a las siguientes características técnicas:

- Alta **resistencia a ciclos profundos de carga y descarga**
- Larga **vida útil** en aplicaciones estacionarias
- Amplio uso en **sistemas solares, eólicos y híbridos**
- Confiabilidad demostrada en proyectos de energías renovables
- Compatibilidad con sistemas de **12 V y bancos de baterías en paralelo**

D. Dimensionamiento del regulador de carga e inversor

a. Datos de diseño del sistema

De los apartados anteriores se tiene:

- Energía diaria generada por el sistema piezoeléctrico:

$$E_{piezo} = 720 \text{ Wh/día}$$

- Voltaje del banco de baterías: 12 V
- Capacidad del banco de baterías: 200 Ah
- Potencia total del sistema de iluminación: 300 W

b. Dimensionamiento del regulador de carga

b.1 Corriente máxima de carga

La corriente máxima que circulará hacia el banco de baterías se estima a partir de la

potencia generada y el voltaje del sistema:

$$I_{carga} = \frac{P_{piezo}}{V_{sistema}}$$

La potencia promedio disponible durante el día es:

$$P_{piezo} = \frac{720 \text{ Wh}}{24 \text{ h}} = 30 \text{ W}$$

$$I_{carga} = \frac{30}{12} = 2,5 \text{ A}$$

b.2 Factor de seguridad

Se aplica un **factor de seguridad del 100 %**, considerando picos instantáneos de generación por tránsito vehicular:

$$I_{reg} = 2,5 \times 2 = 5 \text{ A}$$

b.3 Selección del regulador de carga

Se selecciona un regulador comercial con las siguientes características:

- **Tipo:** Regulador PWM (adecuado para baja potencia)
- **Voltaje nominal:** 12 V
- **Corriente nominal:** $\geq 10 \text{ A}$

El regulador de **10 A / 12 V** garantiza operación segura, estabilidad del sistema y posibilidad de futuras ampliaciones.

c. Dimensionamiento del inversor

c.1 Potencia requerida por la carga

El sistema de iluminación presenta:

- **Potencia total instalada:**

$$P_{carga} = 300 \text{ W}$$

c.2 Factor de sobredimensionamiento

Para soportar corrientes de arranque y evitar sobrecarga del equipo, se aplica un factor de seguridad del **30 %**:

$$P_{inv} = 300 \times 1,3 = 390 \text{ W}$$

c.3 Selección del inversor

Se selecciona un inversor con las siguientes características mínimas:

- **Potencia nominal:** 500 W
- **Voltaje de entrada:** 12 V DC
- **Voltaje de salida:** 220 V AC
- **Tipo de onda:** Onda senoidal pura

El uso de un inversor de onda senoidal pura garantiza una operación estable y eficiente de las luminarias, evitando pérdidas adicionales y posibles fallas prematuras.

d. Corriente demandada al banco de baterías

La corriente que el inversor demanda al banco de baterías se calcula como:

$$I_{inv} = \frac{P_{carga}}{V_{batería} \times \eta}$$

Asumiendo una eficiencia del inversor de **90 %**:

$$I_{inv} = \frac{300}{12 \times 0,9} = 27,8 \text{ A}$$

Este valor se encuentra dentro de la capacidad del banco de baterías de **200 Ah**, asegurando una descarga segura durante el periodo nocturno.

e. Resumen del dimensionamiento

Tabla 8:

Resumen del dimensionamiento

Componente	Valor dimensionado
Regulador de carga	12 V – 10 A (PWM)
Inversor	12 V DC / 220 V AC – 500 W
Banco de baterías	12 V – 200 Ah
Potencia de carga	300 W

Nota: Elaboración propia

f. Circuito que suministre automáticamente cuando no exista energía de red

Arquitectura propuesta (funciona como “UPS híbrido”)

Objetivo: que las luminarias sigan encendidas aun si se corta la red, usando energía almacenada (cargada por piezo y/o por red cuando esté disponible).

Bloques del sistema:

- Baldosa piezoeléctrica (AC variable)
- Rectificación: puente de diodos (UF4007 o puente 600–1000 V, baja corriente)
- Filtro y protección: capacitor + TVS (supresor) para picos
- Convertidor DC-DC (buck) para estabilizar a bus DC (12 V o 24 V)
- Controlador de carga (BMS/charger) hacia banco de baterías
- Inversor DC/AC (si tus luminarias son 220 VAC tipo E27, como en tu tabla de 6×50 W = 300 W)
- Conmutación automática (ATS) entre Red 220 VAC e Inversor 220 VAC hacia la carga.

Conmutación automática (ATS)

- ATS 2P (220 VAC) o contactor con relé de monitoreo de tensión:
 - ✓ Si hay red → la carga se alimenta por red y, opcionalmente, un cargador AC/DC mantiene batería.
 - ✓ Si no hay red → el ATS conmuta a salida del inversor en <1 s (ajustable).

Selección mínima de componentes (para 300 W):

- Inversor: 24 VDC $\rightarrow$ 220 VAC, ≥ 500 W onda senoidal pura (margen por arranque y pérdidas).
- ATS/contactador: ≥ 10 A / 220 VAC ($300\text{ W} \approx 1,36$ A, pero se sobredimensiona por seguridad).
- Cargador AC/DC (opcional pero recomendable): 220 VAC $\rightarrow$ 24 VDC, 10–20 A (para recuperar batería cuando hay red).
- Batería (dimensionamiento rápido para respaldo):
 - ✓ Energía diaria de iluminación: $E = 300\text{ W} \times 12\text{ h} = 3,6\text{ kWh}$.
 - ✓ Si quieres 12 h de autonomía total sin red:
 - Considerando $\eta_{inv} = 0,85$ y DoD=0,8:

A 24 V:

$$Ah \approx \frac{5\,290}{24} = 220\text{ Ah}$$

Recomendación: Banco 24 V – 220 Ah (2 baterías 12 V 220 Ah en serie).

g. Conclusión del dimensionamiento

El regulador de carga y el inversor seleccionados permiten una gestión eficiente y segura de la energía generada por los módulos piezoeléctricos, garantizando la correcta carga del banco de baterías y el suministro estable de energía al sistema de iluminación. El sobredimensionamiento aplicado asegura confiabilidad operativa y posibilidad de expansión futura del sistema.

E. Diseño del diagrama unifilar del sistema piezoeléctrico

a. Descripción general del sistema

El sistema de generación eléctrica mediante tecnología piezoeléctrica para el Paseo

Las Musas está conformado por los siguientes bloques principales:

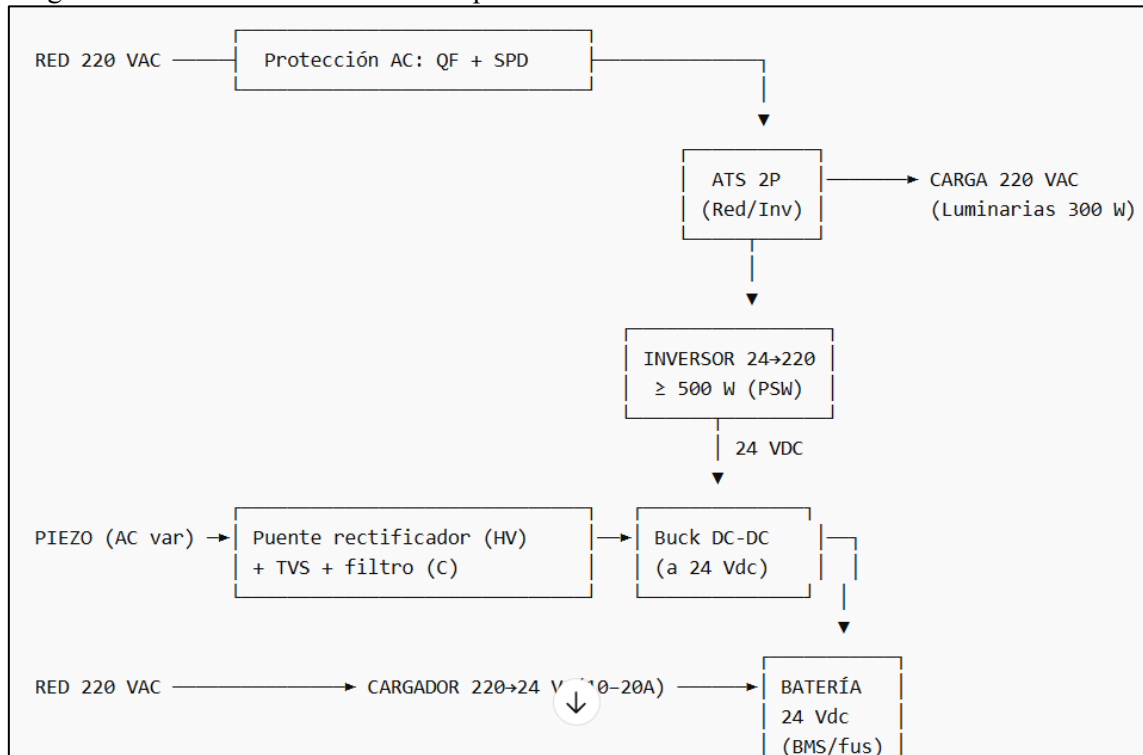
- Módulos piezoeléctricos
- Rectificador AC/DC
- Regulador de carga
- Banco de baterías
- Inversor DC/AC
- Sistema de iluminación de baja potencia
- Sistema de respaldo

El flujo de energía se inicia con la conversión de la energía mecánica producida por el tránsito vehicular en energía eléctrica, la cual es acondicionada, almacenada y finalmente suministrada a las luminarias.

b. Diagrama unifilar del sistema

Figura 5:

Diagrama unifilar del sistema con el respaldo



Nota: Elaboración propia

c. Descripción funcional del diagrama

- **Módulos piezoeléctricos:** convierten la energía mecánica generada por el paso de los vehículos en energía eléctrica alterna de baja magnitud.
- **Puente rectificador:** transforma la señal alterna variable generada por los módulos piezoeléctricos en corriente continua.
- **Regulador de carga:** controla la tensión y corriente de carga hacia el banco de baterías, evitando sobrecargas y descargas profundas.
- **Banco de baterías:** almacena la energía eléctrica generada durante el día para su utilización en el periodo nocturno.
- **Inversor:** convierte la energía de corriente continua (12 V DC) en corriente alterna (220 V AC), compatible con el sistema de iluminación.

- **Tablero de distribución:** permite la protección y distribución de la energía hacia las luminarias.
- **Sistema de iluminación:** conformado por seis luminarias de 50 W cada una, con una potencia total de 300 W.

d. Protecciones recomendadas en el diagrama unifilar

Para garantizar seguridad y confiabilidad del sistema, el diagrama debe incluir:

- Fusible entre módulos piezoeléctricos y regulador
- Fusible o interruptor termomagnético entre baterías e inversor
- Puesta a tierra del inversor y tablero de distribución
- Diodos de bloqueo para evitar corrientes inversas

e. Conclusión del diseño del diagrama unifilar

El diagrama unifilar propuesto representa de manera clara y ordenada el flujo de energía desde la generación piezoeléctrica hasta el consumo final en el sistema de iluminación del Paseo Las Musas. Este diseño permite visualizar la interconexión de los componentes, facilita el mantenimiento del sistema y sirve como base para la implementación práctica y evaluación técnica del proyecto.

F. Selección de marcas y modelos de los componentes del sistema piezoeléctrico

Tabla 9:

Selección de marcas y modelos de los componentes del sistema piezoeléctrico

Nº	Componente	Marca	Modelo referencial	Principales características
1	Módulo piezoeléctrico vehicular	Innowattech	IPEG	Generación por tránsito vehicular, salida AC variable, alta resistencia mecánica
2	Puente rectificador	Vishay	KBPC3510	35 A, 1000 V, alta eficiencia, encapsulado industrial
3	Regulador de carga	Victron Energy	BlueSolar PWM 12/24-10	12 V, 10 A, protección contra sobrecarga y descarga profunda
4	Banco de baterías (2 unidades)	Trojan Battery Company	T-105	12 V, 100 Ah, ciclo profundo, alta durabilidad
5	Inversor DC/AC	Victron Energy	Phoenix 12/500	12 V DC / 220 V AC, 500 W, onda senoidal pura
6	Tablero de distribución	Schneider Electric	PrismaSeT XS	Protección y distribución en baja tensión
7	Interruptor termomagnético	Schneider Electric	iC60N	Protección contra cortocircuito y sobrecarga
8	Fusibles DC	Littelfuse	MIDI Fuse 10 A	Protección de circuitos DC
9	Luminarias LED	Philips	DecoLED 50 W	220 V AC, alta eficiencia, uso exterior
10	Cableado DC	Prysmian	H07V-K	Aislamiento PVC, uso DC
11	Cableado AC	Prysmian	NY Y	Uso exterior, 220 V AC

Nota: Elaboración propia

4.4. Evaluación económica que implica el sistema de Producción de electricidad mediante la Tecnología Piezoeléctrica en el Paseo Las Musas - Chiclayo

A. Presupuesto del Sistema Piezoeléctrico

Supuestos de estimación

- Escenario de 20 % de cobertura energética
- 52 módulos piezoeléctricos

- Sistema a 12 V DC / 220 V AC
- Precios referenciales en Soles (S/.)

Tabla 10:
Costos del sistema piezoeléctrico

N°	Componente	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
1	Módulo piezoeléctrico vehicular (Innowattech IPEG)	52	1 200	62 400
2	Puente rectificador industrial	4	120	480
3	Regulador de carga PWM 12 V – 10 A	1	450	450
4	Batería ciclo profundo 12 V – 100 Ah (Trojan)	2	1 200	2 400
5	Inversor 12 V / 220 V – 500 W	1	1 500	1 500
6	Tablero de distribución eléctrica	1	800	800
7	Interruptores termomagnéticos y fusibles DC/AC	1 lote	600	600
8	Cableado DC y AC	1 lote	1 200	1 200
9	Canalización, cajas y accesorios	1 lote	700	700
10	Mano de obra e instalación	—	—	6 000
11	Ingeniería, pruebas y puesta en marcha	—	—	4 000
TOTAL				82 530

Nota: Elaboración propia

Análisis del costo del sistema

- El **75 % del costo total** corresponde a los módulos piezoeléctricos, lo cual es coherente con este tipo de tecnología.
- El sistema de almacenamiento y conversión representa aproximadamente el **15 %** del costo.
- Los costos de instalación e ingeniería representan el **10 %**, valor aceptable para proyectos piloto.

Costo específico de generación

Energía generada por el sistema (20 % de cobertura):

$$E_{anual} = 720 \text{ Wh/día} \times 365 = 262,8 \text{ kWh/año}$$

Costo específico aproximado:

$$\text{Costo/kWh} = \frac{82\,530}{262.8} = 314 \text{ S/. por kWh/año}$$

Esto confirma que el sistema **no es competitivo económicamente** frente a la red eléctrica, pero **sí viable como proyecto piloto, demostrativo y sostenible**.

Conclusión del análisis económico

La estimación económica demuestra que el sistema piezoeléctrico propuesto representa una inversión elevada para la energía generada; sin embargo, su implementación se justifica desde el punto de vista **ambiental, tecnológico e innovador**, aportando valor como sistema complementario y como referencia para futuras investigaciones en energías alternativas urbanas.

B. Análisis costo–beneficio del sistema piezoeléctrico

a. Datos base del proyecto

a.1 Inversión inicial

Del análisis de costos:

- **Inversión total inicial (I_0):**

$$I_0 = 82\,530 \text{ S/}.$$

a.2 Energía generada anualmente

Energía diaria aportada por el sistema (20 % de cobertura):

$$E_{\text{día}} = 720 \text{ Wh/día} = 0,72 \text{ kWh/día}$$

Energía anual:

$$E_{\text{año}} = 0,72 \times 365 = 262,8 \text{ kWh/año}$$

a.3 Ahorro económico anual

Se considera una tarifa promedio de energía eléctrica en alumbrado público:

- **Tarifa eléctrica promedio:** 0,65 S./kWh

$$Ahorro_{anual} = 262,8 \times 0,65 = 170,8 \text{ S/. / año}$$

a.4 Costos de operación y mantenimiento

Se considera un costo anual equivalente al **2 % de la inversión inicial**:

$$O\&M = 0,02 \times 82\,530 = 1,651 \text{ S/. / año}$$

a.5 Flujo neto anual

$$Flujo_{neto} = Ahorro_{anual} - O\&M$$

$$Flujo_{neto} = 170,8 - 1\,651 = -1\,480,2 \text{ S/. / año}$$

b. Horizonte de evaluación y tasa de descuento

- **Vida útil del proyecto:** 10 años
- **Tasa de descuento:** 10 % (proyectos públicos y energías renovables)

c. Valor Actual Neto (VAN)

c.1 Fórmula

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Flujo_{neto}}{(1+r)^t}$$

Donde:

- $I_0 = 82\,530\text{S/}.$
- $Flujo_{neto} = -1\,480.2\text{S/}.$
- $r = 10\%$
- $n = 10\text{años}$

c.2 Cálculo del VAN

Factor presente de anualidad:

$$FP = \frac{1 - (1 + 0.10)^{-10}}{0.10} = 6.145$$

$$VAN = -82\,530 + (-1\,480.2 \times 6.145)$$

$$VAN = -82\,530 - 9\,096$$

$$\boxed{VAN = -91\,626 \text{ S/.}}$$

c.3 Interpretación del VAN

El VAN negativo indica que el proyecto **no es rentable económicamente** desde el punto de vista financiero tradicional.

d. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa r que cumple:

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Flujo_{neto}}{(1+r)^t}$$

Dado que los **flujos netos son negativos**, el proyecto **no presenta una TIR positiva**.

e. Análisis costo–beneficio (B/C)

e.1 Beneficios actualizados

$$Beneficios = 170,8 \times 6,145 = 1\,050 \text{ S/}.$$

e.2 Costos actualizados

$$Costos = 82\,530 + (1\,651 \times 6,145)$$

$$Costos = 82\,530 + 10\,145 = 92\,675 \text{ S/}.$$

e.3 Relación Beneficio/Costo

$$\frac{B}{C} = \frac{1\,050}{92\,675} = 0,011$$

$$\boxed{B/C < 1}$$

f. Interpretación del análisis económico

Los indicadores económicos obtenidos ($VAN < 0$, $TIR < \text{tasa de descuento}$ y $B/C < 1$) evidencian que el sistema de generación piezoeléctrica **no es económicamente rentable** si se evalúa únicamente en función del ahorro de energía eléctrica.

No obstante, el proyecto presenta beneficios **no monetarios** relevantes, tales como:

- Reducción de emisiones contaminantes
- Aprovechamiento de energía residual
- Innovación tecnológica aplicada al entorno urbano
- Valor demostrativo y educativo
- Base para futuras mejoras tecnológicas

g. Conclusión del análisis costo–beneficio

Se concluye que el sistema piezoeléctrico propuesto para el Paseo Las Musas no resulta viable económicamente bajo criterios financieros tradicionales; sin embargo, su implementación se justifica desde un enfoque ambiental, tecnológico y académico, siendo adecuado como proyecto piloto de innovación energética urbana.

h. Cuantificación económica de las emisiones de CO₂ evitadas

Para valorar económicamente la reducción de emisiones asociada al sistema piezoeléctrico, se adopta como referencia el **Precio Social del Carbono para el Perú**. El MEF recomienda **30 USD₂₀₂₁/tCO₂** como valor de referencia general para el Perú, y además presenta una estimación preliminar de **36 USD₂₀₂₁/tCO₂ para 2025**.

Considerando que la tesis se desarrolla en 2026, es razonable usar **36 USD/tCO₂** como valor referencial actualizado. Con el tipo de cambio interbancario promedio de **S/ 3,4844 por USD**, esto equivale a **S/ 125,44 por tonelada de CO₂**.

Por otro lado, para estimar las emisiones evitadas por sustitución de electricidad de red, puede emplearse el factor oficial de emisión de consumo eléctrico para el Perú de **0,168 kgCO₂e/kWh**, difundido por el MINEM con fuente MINAM 2021. Así, la energía piezoeléctrica anual del proyecto (**5,07 kWh/año**) evita aproximadamente **0,852 kgCO₂e/año**, es decir, **0,000852 tCO₂e/año**. En consecuencia, el valor económico de la no emisión es:

$$\text{Valor económico anual} = 0,000852 \times 125,44 = 0,11 \text{ S/ año}$$

Por tanto, **el costo económico de la emisión evitada por la generación piezoeléctrica actual es aproximadamente S/ 0,11 por año.**

j. Costo de una tonelada de CO₂ no emitida

Tomando como base el Precio Social del Carbono estimado por el MEF para 2025, **cada tonelada de CO₂ no emitida tiene un valor referencial de 36 USD/tCO₂**, equivalente a **S/ 125,44/tCO₂** al tipo de cambio considerado. Este valor puede emplearse en la tesis como parámetro económico ambiental para monetizar los beneficios por reducción de emisiones del sistema piezoeléctrico.

k. Emisiones de CO₂ por kWh si no se emplea tecnología piezoeléctrica

Si no se emplea la tecnología piezoeléctrica, la energía requerida por el sistema de iluminación proviene de la red eléctrica. En ese caso, las emisiones asociadas se calculan con el factor de emisión de **0,168 kgCO₂e/kWh**. Por ello, **por cada 1 kWh consumido sin tecnología piezoeléctrica se generan aproximadamente 0,168 kgCO₂e**. Aplicado al sistema de iluminación del Paseo Las Musas, cuyo consumo es de **3,60 kWh/día**, se

producirían:

$$3,60 \times 0,168 = 0,605 \text{ kgCO}_2\text{e/día}$$

y en un año:

$$1314 \times 0,168 = 220,75 \text{ kgCO}_2\text{e/año}$$

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las conclusiones del presente de investigación son:

- Del diagnóstico energético se determinó que el sistema de iluminación decorativa del Paseo Las Musas presentó una potencia total instalada de 300 W, distribuida en seis luminarias de 50 W cada una. Asimismo, se estableció un consumo energético diario de 3,60 kWh/día, considerando un tiempo de operación de 12 horas. Estos resultados permitieron definir con precisión la demanda energética real del sistema, constituyendo una base técnica adecuada para el dimensionamiento del sistema de generación eléctrica propuesto.
- Se determinó que el flujo vehicular promedio diario en el Paseo Las Musas fue de 5 007 vehículos/día, lo que permitió estimar una generación energética piezoeléctrica aproximada de 13,9 Wh/día. Al comparar este valor con la demanda diaria del sistema de iluminación, se evidenció una cobertura del 0,39 %. En consecuencia, se concluyó que la tecnología piezoeléctrica no resulta viable como fuente principal, siendo adecuada únicamente como fuente complementaria de energía.
- El cálculo y la selección de los componentes del sistema piezoeléctrico evidenciaron que los módulos tipo PZT modelo IPEG presentaron características técnicas adecuadas para la captación de energía residual del tránsito vehicular. Se determinó que escenarios de cobertura parcial entre el 10 % y 30 % fueron técnicamente factibles, requiriéndose entre 26 y 78 módulos. Para una cobertura del 20 %, se dimensionó un banco de baterías de 12 V y 200 Ah, junto con un regulador y un inversor adecuados, garantizando una operación segura y confiable del sistema.
- La evaluación económica del sistema piezoeléctrico permitió determinar una inversión inicial de S/ 82 530 para un escenario de cobertura del 20 %, siendo los módulos

piezoeléctricos el componente de mayor incidencia en el costo total. El análisis financiero arrojó indicadores económicos no favorables, con un VAN negativo, ausencia de TIR positiva y una relación Beneficio/Costo menor a uno. En consecuencia, se concluyó que el proyecto no es económicamente viable bajo criterios financieros tradicionales, aunque resulta pertinente como sistema complementario con fines ambientales, tecnológicos y demostrativos.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda que futuras investigaciones evalúen la integración de la tecnología piezoeléctrica con otras fuentes renovables, como sistemas fotovoltaicos o eólicos de pequeña escala, a fin de conformar sistemas híbridos que permitan mejorar la cobertura energética y la rentabilidad económica del proyecto.

Se recomienda destinar la energía generada por el sistema piezoeléctrico al abastecimiento de sistemas de muy baja potencia, tales como luminarias LED de bajo consumo, señalización urbana, sensores ambientales o sistemas de monitoreo, con la finalidad de maximizar el aprovechamiento de la energía generada y mejorar la eficiencia global del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cardenas Ramirez, J. (2022). *Configuración, material y eficiencia de sistemas piezoeléctricos para la generación de energía eléctrica*. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/rest/api/core/bitstreams/79e8c14e-3d15-44dd-875d-ffa3559b9dc6/content>
- Cardozo Gutiérrez, N. K., & Tamayo Zapata, D. A. (2024). *El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá*. Colombia: Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/31068125-d6ec-48bb-bd3d-79d69240fd10/content>
- Chandi Andrango, S. I. (2023). *Desarrollo de cerámica piezoeléctrica para recolección de energía del tránsito peatonal y vehicular en Cruce Cebra*. Ecuador: Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13429>
- Concha Reátegui, P. R., & Zamalloa Rubina, R. F. (2024). *Proyecto de viabilidad para implementar un sistema de generación de energía renovable en las estaciones de la línea 1 del tren eléctrico de Lima*. Lima: Universidad Privada de Ciencias Aplicadas. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/623982>
- Hernandez Nuñez, E. A., & Sanjinez Guevara, M. A. (2022). *Factibilidad de central eléctrica en base a baldosas piezoeléctricas para iluminación de una plaza de armas*. Chiclayo: Universidad de Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/103479>
- Ibáñez García, J. (2012). *Diseño de un prototipo para generación energética mediante tecnología piezoeléctrica. Aplicación a escaleras*. Brasil: Escuela Técnica de Educación Superior de Ingeniería Industrial. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/14982/Ibáñez.pdf>
- Lalvay Lalvay, J. L. (2023). *Diseño de un colector de energía piezoeléctrico aprovechando la circulación de vehículos en estructuras pavimentadas*. Ecuador: Universidad Católica de Cuenca. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52878/1128267719.2015.pdf?sequence=1>
- Manayay Flores, M. A. (2020). *Sistema de iluminación mediante baldosas con generadores piezoeléctricos para reducir el consumo de energía eléctrica en la discoteca Tarima – Chiclayo*. Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/57194>
- Parra Quiroga, M. C., & Martin Martin, W. A. (2023). *Diseño de un prototipo de baldosa con propiedades piezoeléctricas para su aplicación en vías de acceso peatonal en la Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio*. Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12494/54075>

Vega Bobadilla, J. C. (2020). *Generación de energía piezoeléctrica en la plaza de armas de Jaén-Perú para iluminación y servicios wifi público*. Jaén: Universidad Nacional de Jaén. Obtenido de <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/217>

ANEXOS

Anexo 01: Instrumentos: Fichas de recolección de datos

Ficha N° 01: Diagnóstico del sistema de iluminación

Tesis: Diseño de un generador piezoeléctrico del tipo baldosa para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia en el Paseo Las Musas – Chiclayo

DATOS GENERALES

Lugar de evaluación	Paseo Las Musas – Chiclayo
Fecha de medición	11 de noviembre de 2025
Hora de medición	20:00 horas
Responsable	Bach. Edson Mauricio Cerdan Cespedes

Registro de luminarias existentes

Punto de iluminación	Tipo de luminaria	Potencia (W)	Cantidad	Potencia total (W)	Observaciones
1	LED tipo farola	50	1	50	
2	LED tipo farola	50	1	50	
3	LED tipo farola	50	1	50	
4	LED tipo farola	50	1	50	
5	LED tipo farola	50	1	50	
6	LED tipo farola	50	1	50	
TOTAL			6	300 W	

Cálculo de consumo energético

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia total instalada	300	W

Parámetro	Valor	Unidad
Tiempo de funcionamiento diario	12	h
Energía consumida por día	3.60	kWh/día

Ficha N° 02: Registro de aforo vehicular

Objetivo: Determinar el flujo vehicular para estimar el potencial de generación piezoeléctrica.

DATOS GENERALES

Lugar	Paseo Las Musas – Chiclayo
Método	Conteo vehicular directo
Periodo de evaluación	7 días: 02 de noviembre 2025 al 08 de noviembre 2025
Hora de registro	06:00 – 22:00
Responsable	Bach. Edson Mauricio Cerdan Cespedes

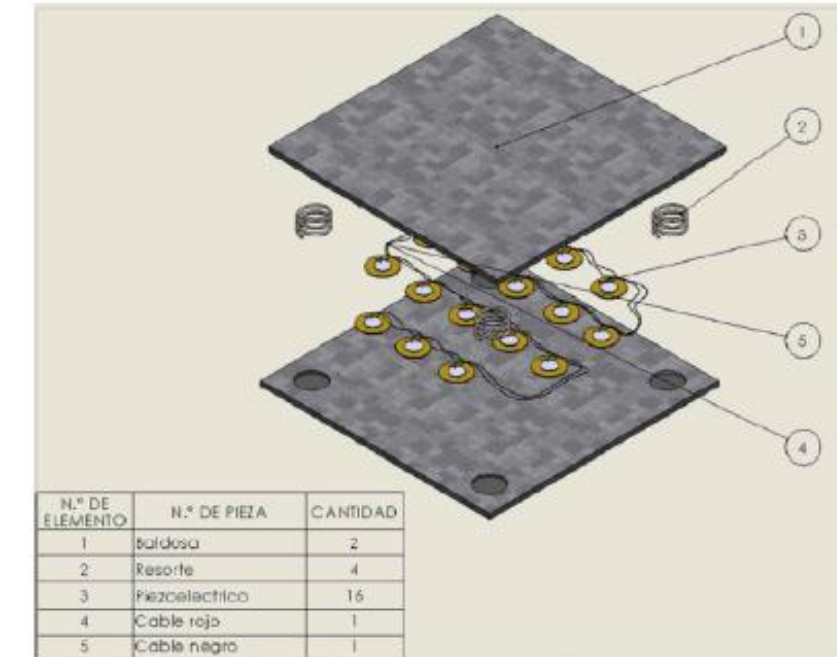
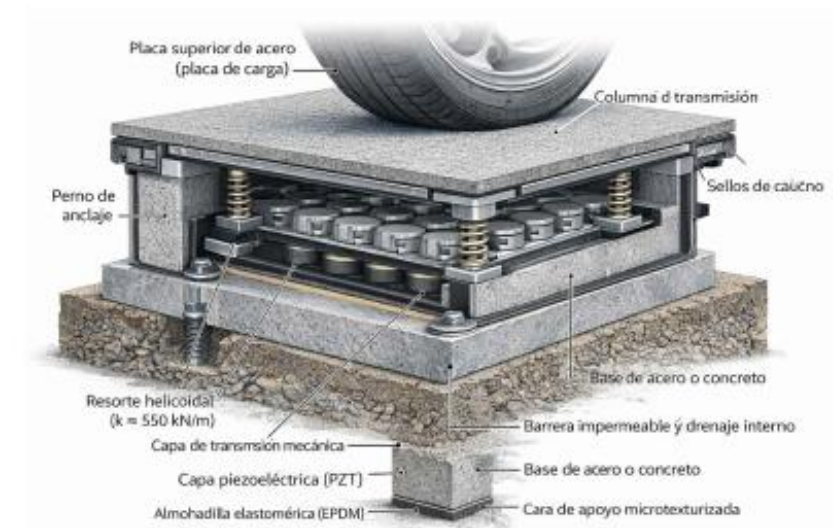
Registro de vehículos por acceso

Día	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 4	Total diario
Lunes	1205	1230	1218	1240	4893
Martes	1215	1245	1220	1258	4938
Miércoles	1230	1255	1240	1265	4990
Jueves	1245	1265	1252	1275	5037
Viernes	1260	1280	1265	1290	5095
Sábado	1305	1320	1315	1340	5280
Domingo	1200	1205	1205	1210	4820

Promedio semanal de vehículos

Acceso	Vehículos promedio/día
Acceso 1	1237
Acceso 2	1257
Acceso 3	1245
Acceso 4	1268
Total promedio diario 5007 vehículos/día	

Anexo 01: Plano de Ubicación



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

Tema: Diseño de un generador piezoeléctrico del tipo baldosa, para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia en el Paseo Las Musas - Chiclayo

Plano: UBICACION Y DETALLE DEL SISTEMA PIEZOELÉCTRICO		Diseño CAD	Número: U-1
Dominio: CHILAYO	Asesor: Dr. Eibar Mauricio Cerdán Caspedes	Escuela: IE	
Provincia: CHILAYO	Revisor: Ing. Jony Villalobos Caltrana	Fecha: Feb. - 2025	

Anexo 02: Diagrama Unifilar

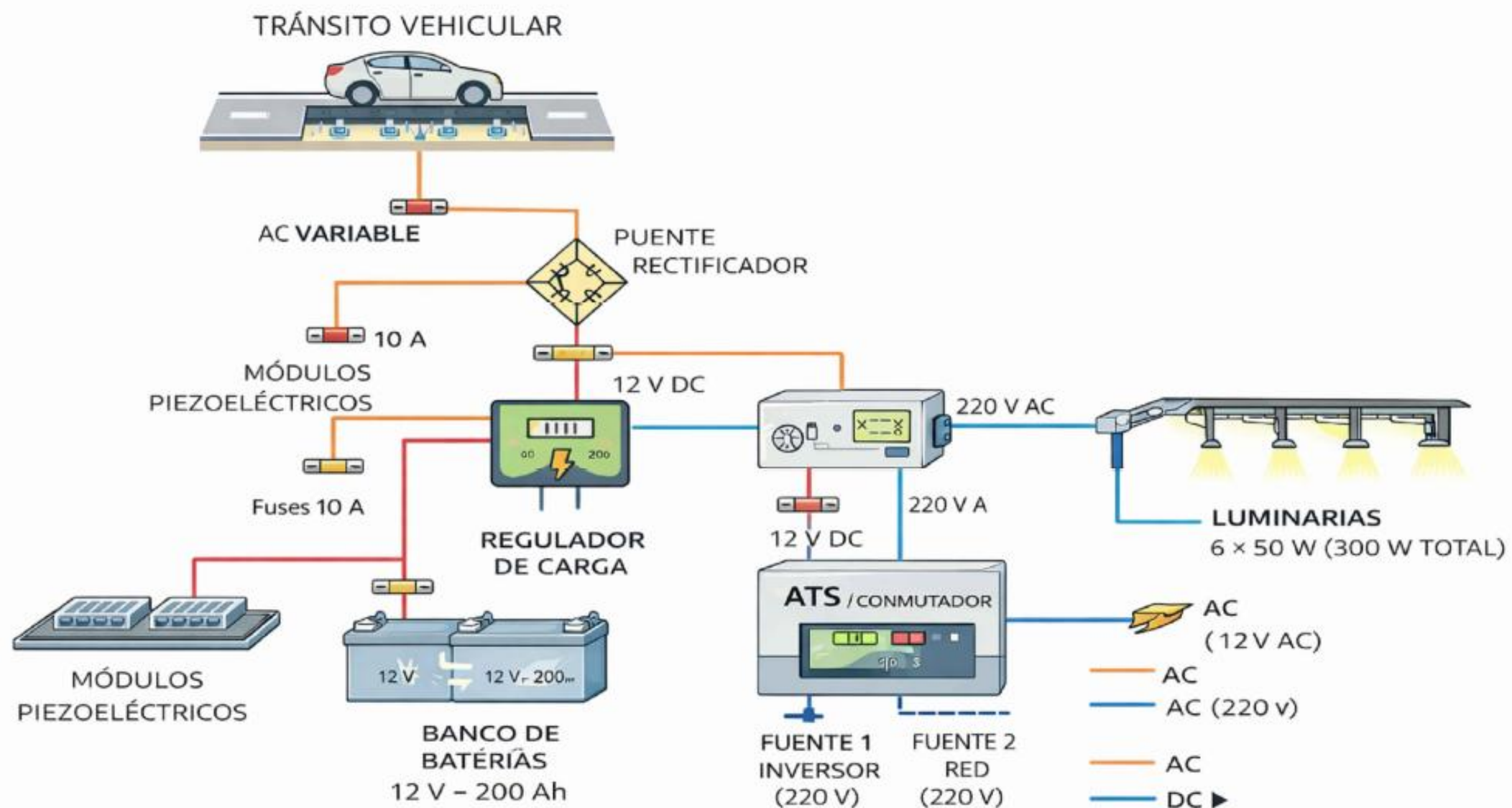


Figura X. Diagrama unifilar del sistema **piezoeléctrico** para iluminación del Paseo Las Musas.

— AC — DC — DC (220 V) — AC (220 V) — AC (220 V)

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA ELECTRICA

Tema: **Diseño de un generador piezoeléctrico del tipo baldosa, para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia en el Paseo Las Musas - Chiclayo**

Plano: DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA PIEZOELÉCTRICO	Dibajo: CAD	Número:
Dominio: CHILAYO	Autor: Dr. Edison Mauricio Cortés Cepedillo	Escala: SE
Provincia: CHILAYO	Revisor: Ing. Jerry Villalobos Cabrera	Fecha: Feb - 2026
Región: LA MBAYEQUE		

DU-1

