

Universidad de Lima  
Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería Industrial



# **EFFICIENCY AND FEASIBILITY ANALYSIS OF A RENEWABLE ENERGY GENERATION SYSTEM BASED ON PIEZOELECTRIC PRINCIPLE**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

**Enma Paola Arias Pacheco**

**Código 20171853**

**Claudia Jimena Lucho Alvarez**

**Código 20170869**

**Asesor**

Juan Carlos Quiroz Flores

Lima – Perú  
Mayo de 2024



**Propuesta**  
**Carrera Ingeniería Industrial**

**Título**

*Efficiency and Feasibility Analysis of a Renewable Energy Generation System based on Piezoelectric Principle.*

**Autor(es)**

Enma Paola Arias Pacheco

[20171853@aloe.ulima.edu.pe](mailto:20171853@aloe.ulima.edu.pe)

Universidad de Lima

Claudia Jimena Lucho Alvarez

[20170869@aloe.ulima.edu.pe](mailto:20170869@aloe.ulima.edu.pe)

Universidad de Lima

Juan Carlos Quiroz Flores

[jcquiroz@aloe.ulima.edu.pe](mailto:jcquiroz@aloe.ulima.edu.pe)

Universidad de Lima

**Resumen:** Esta investigación analiza la posibilidad de generar energía renovable a partir de la energía cinética generada por personas que caminan sobre baldosas equipadas con sensores piezoeléctricos. El objetivo principal es determinar la eficiencia de este sistema y su capacidad para reducir el consumo de energía eléctrica convencional. El estudio se basa en una revisión de la literatura existente y en la construcción de un prototipo de baldosa piezoeléctrica. Se realizan pruebas y mediciones para evaluar la generación de energía y se proponen mejoras en el diseño del prototipo. Los resultados muestran que el sistema es viable y que la generación de energía es adecuada para cubrir la demanda de energía eléctrica en un entorno específico. Se concluye que la implementación de este sistema puede ser rentable y beneficiosa para reducir el consumo de energía convencional.

**Palabras Clave:** Energía renovable, Energía limpia, Efecto piezoelectrico y baldosas.

**Abstract:** This research analyzes the possibility of generating renewable energy from the kinetic energy generated by people walking on tiles equipped with piezoelectric sensors. The main objective is to determine the efficiency of this system and its ability to reduce conventional electrical energy consumption. The study is based on a review of existing literature and the construction of a piezoelectric tile prototype. Tests and measurements are performed to evaluate the power generation and improvements in the prototype design are proposed. The results show that the system is feasible and that the power generation is adequate to cover the electrical energy demand in a specific environment. It is concluded that the implementation of this system can be cost-effective and beneficial to reduce conventional energy consumption.

**Keywords:** Renewable energy, Clean energy, Piezoelectric, Piezoelectric effect and Tiles.

**Línea de investigación IDIC – ULIMA:** (9) - Medioambiente y responsabilidad social – (9.4) - Energía renovables, no renovables y biocombustibles

**Área y Sub-áreas de Investigación:**

(4) - Ingeniería de instalaciones y gestión energética

**Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS):** (11) – Ciudades y comunidades sostenibles

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Tras una revisión de la literatura relevante, se identificó una tecnología capaz de generar energía, permitiendo a una sociedad satisfacer sus necesidades. La recolección de energía (EH) es una técnica para recoger y generar energía a partir de diversas fuentes, como tensiones mecánicas y vibraciones. Debido a la omnipresencia del movimiento y las vibraciones, la tecnología de recolección de energía mecánica ha suscitado un interés considerable (Ali et al., 2021). La investigación energética trabaja sobre un prototipo de baldosa que lleva instalados sensores piezoeléctricos que hacen posible la transformación de energía cuando las personas la pisan. Además, se recomienda un sistema capaz de reducir o eliminar los impactos ambientales negativos. En 2018, Martínez y Alcántara (2019) demostraron un incremento del 3,8% en el uso de energías limpias.

Además, aunque el Indicador Multidimensional de Pobreza Energética (IMPE) ha disminuido progresivamente, Coello et al. (2018) declaran que todavía hay aproximadamente 7,3 millones de peruanos que aún no tienen acceso a la electricidad. Gouveia et al. (2019) demuestran que la evaluación de la vulnerabilidad a la pobreza energética a una escala regional tan desagregada podría salvar la brecha entre los análisis convencionales a escala nacional y las iniciativas a escala local dirigidas a los hogares vulnerables. debería ser una prioridad máxima para los gobiernos locales fomentar un comportamiento consciente del medio ambiente y aumentar el número de prosumidores que producen energía y calor sostenibles (Ali et al., 2022). Sin embargo, se debe recurrir a la baja tecnología, lo que implica aplicar y utilizar soluciones innovadoras que sean sencillas de desarrollar dentro de las limitaciones de los recursos disponibles. Por consiguiente, el criterio fundamental para que una solución sea de baja tecnología no es su coste monetario, sino más bien una combinación de satisfacción de los requisitos fundamentales de la comunidad local, utilización de recursos locales, facilidad de reproducción y sostenibilidad medioambiental (Bozena et al., 2022).

### OBJETIVOS

El propósito principal de la investigación a realizar es determinar la eficiencia del sistema construido. Por otro lado, los objetivos específicos planteados son determinar el costo-beneficio de las baldosas generadoras de energía, las limitaciones de diseño que tendría y la productividad del mecanismo propuesto.

### JUSTIFICACIÓN

Hoy en día, gracias a la capacidad humana, se ha logrado el desarrollo de diversas sociedades con grandes logros en diversos campos, que han permitido no solo la supervivencia sino la comodidad de la población. Sin embargo, este no siempre tuvo en consideración el impacto que las industrias y las tareas cotidianas traen al planeta Tierra. Ante ello, surge el cuestionamiento acerca de las gestiones y posibles mejoras que ayuden a reducir el impacto ambiental que estas generan.

Uno de los campos con mayor incidencia en el deterioro medioambiental es la industria de generación de energía, ya que utiliza recursos no renovables. En consecuencia, se busca la difusión e innovación de soluciones limpias. Sin embargo, es necesario considerar algunos factores, sobre todo si éstas se implementarán en las ciudades, tales como los factores: económicos, existencia de recursos, eficiencia para la utilización, factores sociales y ambientales (Barragán-Escandón et al., 2019). Si se desarrollan y utilizan de manera eficiente, las fuentes de energía renovables recorrerán un largo camino para proporcionar seguridad energética, empleo ecológico, y crecimiento y desarrollo sostenibles (Maji, 2015).

### HIPÓTESIS

Aplicando baldosas captadoras de energía, que siguen el principio piezoeléctrico, sería posible reducir el consumo de energía eléctrica convencional.

## DISEÑO METODOLÓGICO

Tipo: Aplicada

La presente investigación fue de tipo aplicada, ya que busca definir si la implementación de las baldosas generará un ahorro en el “Multicentro Benavides”

Enfoque: Cuantitativo

La metodología adoptada es de naturaleza cuantitativa, ya que tiene como objetivo medir, comparar y dar sentido a los datos recopilados durante la fase inicial, simulación y proyección de utilización.

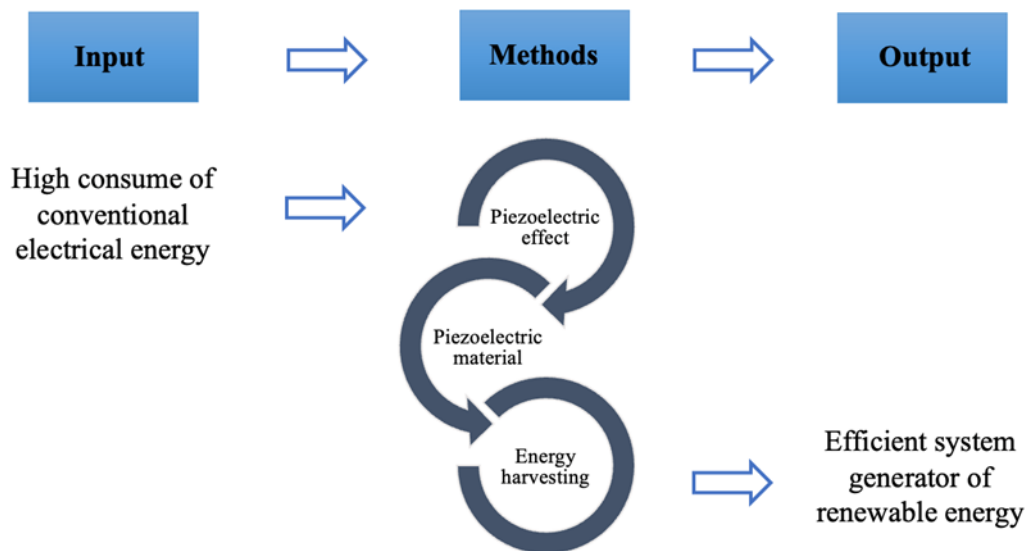
Alcance: Causal

El alcance es causal, ya que se pretende entender el impacto que tiene la implementación de las baldosas piezoeléctricas en el índice de generación de electricidad.

Como se desarrolló anteriormente, esta investigación se basa en el siguiente modelo propuesto, visible en la Figura 1. El proceso de construcción del prototipo fue liderado por la comprensión del efecto piezoeléctrico y su componente central, así como la teoría de recolección de energía.

**Figura 1.1**

Modelo propuesto



### Efecto piezoeléctrico

Edla et al. (2023) señalan que se han realizado numerosos estudios para investigar alternativas de recolección de microenergía a las baterías convencionales. El movimiento mecánico se ha convertido en una fuente de energía primaria en los últimos años y ha sido ampliamente investigado para la recolección de microenergía. La transducción electrostática, electromagnética, triboeléctrica y piezoeléctrica son mecanismos destacados basados en energía mecánica para la transferencia de energía.

Cao et al. (2018) afirman que la tecnología de recolección de energía piezoeléctrica emplea un acoplamiento electromecánico de materiales piezoeléctricos, convirtiendo así directamente la energía mecánica en energía eléctrica. Estos se cargan eléctricamente cuando se someten a tensión, y la cantidad de carga eléctrica está determinada por la fuerza, las características, el rendimiento del acoplamiento electromecánico del material piezoeléctrico y la estructura.

Liu y cols. (2018) afirman que la marcha humana ejerce una fuerza dinámica de 500 a 1000 N sobre el suelo. Como dicta el efecto piezoeléctrico, la energía eléctrica se producirá en proporción a la cantidad de fuerza aplicada sobre el prototipo construido.

## **Materiales piezoeléctricos**

Se requiere una alta densidad de energía y un alto coeficiente de transducción (Ahn et al., 2018) para mejorar la aplicación de materiales piezoeléctricos en la recolección de energía. Los componentes principales de la recolección de energía piezoeléctrica son los materiales piezoeléctricos; Los avances en la investigación de materiales determinan la eficiencia de la captación de energía. (Cao et al., 2018) La densidad de energía de los parámetros materiales del voltaje piezoeléctrico ( $g$ ) y el coeficiente de deformación piezoeléctrica ( $d$ ) multiplicado por ( $d * g$ ). Los materiales piezoeléctricos típicos incluyen nanobarras de óxido de zinc (ZnO), titanato de bario (BaTiO<sub>3</sub>) y titanato de circonato de plomo (PZT). Entre estos candidatos, las nanobarras de ZnO han demostrado una eficacia excepcional debido a sus propiedades distintivas (Ali et al., 2022). En este sentido, el material piezoeléctrico seleccionado es una cerámica sensora que contiene zinc como componente principal.

### **Captación de energía.**

El suministro de energía fuera de la red para sensores utilizados en infraestructuras inteligentes, monitoreo de salud estructural y detección ambiental podría depender en gran medida de la energía recolectada del entorno circundante. Los investigadores llevan bastante tiempo concentrándose en recolectar energía de la interacción entre el pie de una persona y el suelo. El calzado de recolección de energía del MIT Media Lab demostró esta capacidad (Liu et al., 2018).

Además, se han realizado numerosos estudios sobre recolectores de energía piezoeléctricos para alimentar nodos de sensores inalámbricos sin baterías. Es fundamental tener en cuenta que los circuitos recolectores piezoeléctricos deben diseñarse teniendo en cuenta la reducción de componentes del circuito para ahorrar área de chip y dinero (Chen et al., 2021). Dado su tamaño compacto, bajo costo y alta eficiencia en la recolección de energía mecánica ambiental (Ahn et al., 2018), el objetivo es desarrollar una loseta capaz de recolectar la energía cinética de las pisadas humanas.

## **NOTAS (AGRADECIMIENTOS)**

Enma: Quiero agradecer a todas las personas que con su apoyo y disponibilidad nos acompañaron en lograr culminar esta investigación. También, hacer un agradecimiento especial a los participantes de la muestra, por confiar en nosotras, sobre todo en época de pandemia.

Claudia: En primer lugar, quiero agradecer a mi hermano y a mis padres, que me brindan su apoyo incondicional para cumplir todos mis objetivos. Así mismo, a mis profesores que gracias a sus conocimientos compartido han ayudado a forjar la profesional que soy; y amigos, con quienes hemos vivido gratos momentos durante estos 5 años. Por último, a Enma quien ha sido una gran compañera de tesis y en general de toda la carrera, sé que ha sido un camino duro, pero lo logramos.

## **REFERENCIAS**

- Ahn, Jung Hwan., Cho, Jae Yong., Hong, Seong Do., Jabbar, Hamid., Kim, Kyung-Bum., Sung, Tae Hyun., Woo, Sang Bum., Baldosas compuestas optimizadas para captación de energía piezoeléctrica para Gestión inteligente de la energía en el hogar. *Conversión y gestión de energía*, vol. 171, págs. 31-37, 2018.
- Ali, Fara., Arith, Faiz., Leong, Kok., Mohd, Mohd., Mustaffa, Mohammad. Muhammad, Ahmad., Noorasid, Nur., Muzafar, Mohd., Hacia un nanogenerador basado en ZNO altamente eficiente. *Micromáquinas*, vol. 13, núm. 12, págs. 2200, 2022.
- Aranda, J.J., Bader, S., Oelmann, B. Sensor inalámbrico autoalimentado que utiliza un recolector de energía por fluctuación de presión, *Sensores*, vol. 21, núm. 4, págs.1546, 2021.
- Barragán-Escandón, Edgar., Zalamea-León, Esteban., Terrados-Cepeda, Julio., Vanegas-Peralta, Pablo., Factores que influyen en la selección de energías renovables en la ciudad, *Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*, vol. 45, núm. 134, págs. 259-277, 2019.
- Cao, Dongwei., He, Ming., Yang, Hailu., Xu, Xiaochen., Aplicación de transductor piezoeléctrico en la recolección de energía en pavimento. *Revista internacional de investigación y tecnología de pavimentos*, vol. 11, núm. 4, págs. 388-395, 2018.

- Deguchi, Mikio., Haseeb, Abdul., Mahesh, Edla., Santoso, Fendy., Ucgul, Mustafa., Un circuito convertidor elevador duplicador de voltaje para sistemas piezoeléctricos de recolección de energía. *Energías*, vol. 16, núm. 4, págs. 1631, 2023.
- Edla, Mahesh., Deguchi, Mikio., Izadgoshasb, Iman., Kouzani, Abbas., Mahmud, A., Convertidor elevador autoalimentado para optimización de energía y luces piezoeléctricas para jardín. *Materiales y estructuras inteligentes*, vol. 31, núm. 4, 045021, 2022.
- Edla, Mahesh., Lemckert, Charles., Lim, Yee., Piyarathna, Iresha., Thabet, Ahmed., Üçgül, Mustafa., Mejora del ancho de banda y la producción de energía del recolector de energía piezoeléctrico utilizando un novedoso diseño de haz ramificado curvado multimodo para el movimiento humano solicitud. *Sensores*, vol. 23, núm. 3, págs. 1372, 2023.
- Gouveia, João., Palma, Pedro., Simões, Sofia., Índice de vulnerabilidad a la pobreza energética: una herramienta multidimensional para identificar puntos críticos para la acción local. *Informes de energía*, vol. 5, págs. 187-201, 2019.
- Jintanawan, T., Phanomchoeng, G., Suwankawin, S., Kreepoke, P., Chetchatree, P., U-Viengchai, C., Diseño de pisos de recolección de energía cinética, *Energies*, vol. 13, núm. 20, págs.5419, 2020.
- Li, Di., Wang, Chun., Cui, Xinhui., Chen, Dongdong., Fei, Chunlong., Yang, Yintang., Progreso reciente y desarrollo de circuitos integrados de interfaz para la recolección de energía piezoeléctrica, *Nano Energy*, vol. 94, núm. 106938, 2022.
- Liu, Mingyi., Lin, Rui., Zhou, Shengxi., Yu, Yilum., Ishida, Aki., McGrath, Margarita., Kennedy, Brook., Hajj, Muhammad., Zuo, Lei. Diseño, simulación y experimentación de una novedosa pavimentadora captadora de energía de alta eficiencia. *Energía aplicada*, vol. 212, págs. 966-975, 2018.
- Maji, Ibrahim., ¿La energía limpia contribuye al crecimiento económico? Pruebas de Nigeria. *Informes de energía*, vol. 1, págs. 145-150, 2015.
- Torres, Mariela., Paz, Karim., Métodos de recolección de datos para una investigación, Universidad Rafael Landívar, 2020.
- Wang, Sheng-He., Tsai, Mi-Ching., Wu, Tsung-His., El análisis y diseño de un piso de recolección piezoeléctrico de alta eficiencia con mecanismo de fuerza de impacto. *Cristales*, vol. 11, núm. 4, págs.380, 2021.

## ANEXO.

### Datos del artículo publicado

- **Nombre del artículo:** Eficiencia y análisis de viabilidad de un sistema de generación de energía renovable basado en el principio piezoeléctrico.
- **Autores:** Enma Paola Arias Pacheco, Claudia Jimena Lucho Alvarez
- **Co autor(es):** Juan Carlos Quiroz Flores

### Presentación en congreso

- **Nombre del congreso:** The 2<sup>nd</sup> International Conference on Industrial Engineering and Operations Management
- **Organizador:** IEOM Society
- **Sede:** Australian
- **Año:** 2023
- **Pp:** 13 hojas
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes):** <https://doi.org/10.46254/AU02.20230189>

# PAPER\_ARIAS & LUCHO

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

<b>9%</b> INDICE DE SIMILITUD	<b>9%</b> FUENTES DE INTERNET	<b>0%</b> PUBLICACIONES	<b>0%</b> TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

<b>1</b>	<b>index.ieomsociety.org</b> Fuente de Internet	<b>9%</b>
----------	--	-----------

---

Excluir citas

Apagado

Exclude assignment  
template

Activo

Excluir bibliografía

Activo

Excluir coincidencias

< 15 words