

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRONICA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRONICO

Estudio para la generación de electricidad con baldosas piezoeléctricas como
energía alternativa

Línea de investigación: Robótica y Automatización Avanzada

Autores:

Guanilo Chiroque, Carlos Rosario
Miguel Baila, Carlos Kelvin

Jurado evaluador:

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto
Secretario : Linares Vertiz, Saul Noe
Vocal : León Cerna, Alejandro Martin

Asesor:

de La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

Código Orcid:

<https://orcid.org/0000-0001-9207-8558>

Trujillo–Perú
2023

Fecha de Sustentación: 2023/10/16

CARACTERIZACIÓN DE LAS BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD COMO ENERGÍA ALTERNATIVA

por Guanilo Chiroque & Miguel Baila



Fecha de entrega: 16-abr-2023 11:17p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2066789251

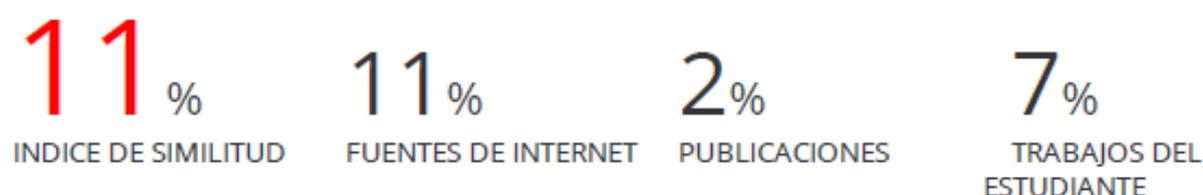
Nombre del archivo: Tesis_-_Guanilo_Chiroque_Miguel_Baila.pdf (1.07M)

Total de palabras: 7179

Total de caracteres: 42610

CARACTERIZACIÓN DE LAS BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD COMO ENERGÍA ALTERNATIVA

INFORME DE ORIGINALIDAD



ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

9%

★ hdl.handle.net

Fuente de Internet



Miguel De la Cruz Rodriguez
Ingeniero Electrónico
CIP 8539B

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 1%



Filiberto Azabache Fernández

N° CIP 97916
Presidente



Saul Noe Linares Vertiz

N° CIP 142213
Secretario



Alejandro Martin León Cerna

N° CIP
Vocal 177967

Entregado el:



Carlos Rosario Guanilo Chiroque

DNI 70773171

Aprobado por:



Carlos Kelvin Miguel Baila

DNI 70610823



Oscar Miguel De La Cruz Rodríguez

Asesor de Tesis

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRONICA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRONICO

Estudio para la generación de electricidad con baldosas piezoeléctricas como
energía alternativa

Línea de investigación: Robótica y Automatización Avanzada

Autores:

Guanilo Chiroque, Carlos Rosario
Miguel Baila, Carlos Kelvin

Jurado evaluador:

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto
Secretario : Linares Vertiz, Saul Noe
Vocal : León Cerna, Alejandro Martin

Asesor:

de La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

Código Orcid:

<https://orcid.org/0000-0001-9207-8558>

Trujillo-Perú

2023

Fecha de Sustentación: 2023/10/16

DECLARACION DE ORIGINALIDAD

Yo, Ms. Ing. Oscar Miguel De La Cruz Rodríguez, docente del Programa de Estudio de Pregrado de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis titulada “Estudio para la generación de electricidad con baldosas piezoeléctricas como energía alternativa”, de los autores Carlos Rosario Guanilo Chiroque y Carlos Kelvin Miguel Baila

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 11%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 16 de abril del 2023
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis “Estudio para la generación de electricidad con baldosas piezoeléctricas como energía alternativa” y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Ciudad y fecha: Trujillo 12/11/23



Ing. Oscar Miguel De La Cruz Rodríguez

DNI: 40545044

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9207-8558>



CARLOS ROSARIO GUANILO CHIROQUE

DNI: 70773171



CARLOS KELVIN MIGUEL BAILA

DNI: 70610823

A Dios nuestro salvador,
A mis padres,
A mi esposa e hijo,
A toda mi familia que siempre me apoya en todo,
A la Universidad por su enseñanza,
Y a mis amigos que me impulsaron a mejorar.

Carlos R. Guanilo Chiroque.

A Dios nuestro señor que estuvo conmigo en todo momento,
Siempre me brindo la fuerza para continuar y no retroceder,
A mis padres por ser mis compañeros en cada momento de mi vida,
Creyendo en mi e incentivándome a seguir adelante,
A la Universidad por prestarnos su sabiduría,

Carlos Kelvin Miguel Baila

A Dios por ser mi guía y darnos el amor más grande y puro que ha existido en este mundo.

A nuestros padres por habernos apoyado en todo momento, por sus consejos y valores, por la motivación constante que nos ha permitido seguir adelante a pesar de las dificultades de la vida.

A mi asesor de tesis, Ingeniero Oscar De La Cruz Rodríguez por apoyarnos en esta investigación.

GRACIAS.

Resumen

El objetivo del presente trabajo es realizar la caracterización de las baldosas piezoeléctricas para la generación de electricidad como energía alternativa.

En principio en el trabajo se describen los aspectos del diseño de investigación justificación del estudio, para luego presentar las bases teóricas que permita comprender la generación de electricidad como energía alternativa. Luego de presentar los materiales y procedimientos de la investigación se procede a detallar la problemática del proceso de generación de electricidad como energía alternativa. A partir del análisis de la información obtenida se evalúan aspectos técnicos para realizar la caracterización de la baldosa piezoeléctrica para la generación de electricidad como energía alternativa, a través de los pesos de diferentes personas.

Por último, a través de las baldosas piezoeléctricas al ser sometidas a fuerzas externas se obtiene la mayor energía generada.

Palabras Claves: caracterización, baldosa, proceso.

Abstract

The objective of this work is to characterize piezoelectric tiles for the generation of electricity as alternative energy.

In principle, the work describes the aspects of the research design and justification of the study, to later present the theoretical bases that allow understanding the generation of electricity as alternative energy. After presenting the research materials and procedures, we proceed to detail the problems of the electricity generation process as alternative energy. From the analysis of the information obtained, technical aspects are evaluated to characterize the piezoelectric tile for the generation of electricity as alternative energy, through the weights of different people.

Finally, through the piezoelectric tiles, when subjected to external forces, the greatest energy generated is obtained.

Keywords: characterization, tile, process.

Presentación

Señores miembros del Jurado:

De conformidad con lo estipulado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, ponemos a su disposición el informe de tesis titulado “Estudio para la generación de electricidad con baldosas piezoeléctricas como energía alternativa” para que sea revisado y evaluado y de ser aprobado pueda ser defendido oralmente para optar el título profesional de Ingeniero ELECTRONICO

De antemano, nos excusamos de los errores involuntarios en que se hubiera incurrido en el desarrollo y redacción del misma, esperando del honorable jurado un justo dictamen.

CARLOS ROSARIO GUANILO CHIROQUE

CARLOS KELVIN MIGUEL BAILA

ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA	i
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
PRESENTACIÓN	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Justificación del estudio.....	2
II. MARCO DE REFERENCIA	2
2.1. Antecedentes del estudio	2
2.2. Marco teórico	4
2.3. Marco conceptual	9
2.4. Sistema de hipótesis	9
2.5. Variables. Operacionalización de variables	9
III. METODOLOGÍA EMPLEADA.....	17
3.1. Tipo y nivel de investigación	17
3.2. Población y muestra del estudio.....	17
3.3. Diseño de investigación	17
3.4. Técnicas e instrumentos de la investigación	18

3.5. Procesamiento y análisis de resultados	18
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	19
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	32
CONCLUSIONES	327
RECOMENDACIONES	327
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de la variable independiente	9
Tabla 2: Operacionalización de la variable dependiente	10
Tabla 3: Esquema del diseño de investigación	17
Tabla 4: Voltaje generado para 70.70Kg	28
Tabla 5: Voltaje generado para 72.10Kg	29
Tabla 6: Voltaje generado para 85.85Kg	30
Tabla 7: Máxima energía generada	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Efecto piezoeléctrico	5
Figura 2: Generación de electricidad mediante tecnología piezoeléctrica	5
Figura 3: Comportamiento cuasi estático	6
Figura 4: Comportamiento bajo carga dinámica	7
Figura 5: Baldosas piezoeléctricas.....	7
Figura 6: Procedimiento para el cumplimiento de objetivos.....	18
Figura 7: Medición del peso de la primera persona = 70.70kg	19
Figura 8: Medición del peso de la segunda persona 72.10kg	20
Figura 9: Medición del peso de la tercera persona 85.85kg	20
Figura 10: Prototipo del sistema piezoeléctrico	21
Figura 11: Baldosa piezoeléctrico de 40cmx40cm	21
Figura 12: Osciloscopio empleado en la medición de voltajes	22
Figura 13: Circuito extractor de tensión de la baldosa piezoeléctrica	23
Figura 14: Tiempo comprendido desde 0 hasta 1s para 70.70Kg	23
Figura 15: Tiempo comprendido desde 0 hasta 1s para 72.10Kg	24
Figura 16: Tiempo comprendido desde 0 hasta 1s para 85.85Kg	24
Figura 17: Tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 70.70kg.....	25
Figura 18: Tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 72.1kg.....	26
Figura 19: Tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 85.85kg	27
Figura 20: Voltaje vs Configuración eléctrica y disposición geométrica para 70.7Kg. 28	
Figura 21: Voltaje vs Configuración eléctrica y disposición geométrica para 72.1Kg. 29	
Figura 22: Voltaje vs Configuración eléctrica y disposición geométrica para 85.85Kg30	

Figura 23: Máxima energía almacenada.....	31
Figura 24: Circuito experimental para almacenamiento de energía	33

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

Las tecnologías piezoeléctricas, y específicamente la recolección de energía piezoeléctrica, ha despertado recientemente un gran interés de investigación en la comunidad académica (Umeno, Shiihara y Yoshikawa, 2021), debido a la alta eficiencia de conversión en comparación con los recolectores electromagnéticos y electrostáticos. Sin embargo, la eficiencia de los sistemas piezoeléctricos depende de varios parámetros, como las propiedades del material, las dimensiones geométricas, los componentes del circuito eléctrico, etc. (Foutsitzi et al., 2022).

Los sistemas piezoeléctricos se utilizan en una diversidad de aplicaciones (Yang et al., 2020), por lo que la configuración y los materiales son factores importantes para este tipo de tecnología de recolección de energía (Sadl et al., 2022), además de ser los más populares debido a sus ventajas de bajo costo, respuesta lineal y alta sensibilidad (Kim et al., 2021). Existen materiales piezoeléctricos convencionales, como las piezocerámicas a base de plomo, que son frágiles por naturaleza y difíciles de fabricar. Para superar estos inconvenientes, nuevos materiales compuestos piezoeléctricos flexibles han atraído la atención del interés de investigación (Foutsitzi et al., 2022).

El incremento de la demanda energética y el interés de la población por el uso de fuentes renovables de energía eléctrica, representan condiciones favorables para la utilización de la energía piezoeléctrica en su verdadero potencial, desconociéndose la cantidad de energía generada al someterla a diferentes fuerzas externas, conexiones eléctricas y geometría de la baldosa.

Por lo que, mediante esta investigación se busca caracterizar las baldosas piezoeléctricas en la generación de energía eléctrica renovable en función de los parámetros antes descrito.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Caracterizar las baldosas piezoeléctricas para la generación energía eléctrica producida al ser sometidas a fuerzas externas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Describir el funcionamiento de los sistemas piezoeléctricos sometidos a diferentes magnitudes de fuerzas.
- Medir la energía generada por la baldosa piezoeléctrica propuesta sometida a fuerzas externas.
- Cuantificar la energía generada por una baldosa piezoeléctrica haciendo uso de una tarjeta de adquisición de datos.

1.3. Justificación del estudio

En lo social, permitirá utilizar energía potencial que se pierde al caminar, que se puede convertir en energía eléctrica, mediante el uso de baldosas piezoeléctricas.

En lo tecnológico, desarrollar la electrónica necesaria para cuantificar la energía generada por las baldosas piezoeléctricas.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

Arévalo y Lamprea (2019) en su tesis “Diagnóstico para la implementación de baldosas piezoeléctricas como alternativa de energía renovable en la Universidad Santo Tomás Villavicencio Campus Aguas Claras” Su propósito de trabajo fue transformar la energía mecánica (vibraciones y pisadas) que genera el flujo peatonal de la

comunidad Tomasina y transformarlo en energía eléctrica los cuales se usara para alimentar luces led o reservarlas para otras aplicaciones. La tesis dio como resultado la construcción del prototipo de 41x 41 cm recolectando una energía por pisada de 0,0072 W. El aporte de la investigación es la creación de un prototipo de baldosa piezoeléctrica la cual será considerada para la creación de un prototipo con mayor recolección de energía al momento de entrar en contacto con la energía mecánica.

Soria (2019) en su tesis “Investigación del aporte energético en la utilización de la baldosa piezoeléctrica como una fuente de energía renovable para alimentar sistemas eléctricos de iluminación de bajo consumo” tuvo como propósito realizar una investigación sobre el aporte energético de las baldosas piezoeléctricas que alimentan a sistemas de iluminación, los resultados fueron que la implementación de sistemas eléctricos la cual genera energía eléctrica de manera renovable como el sistema piezoeléctrico, su costo de inversión inicial es elevado, este sistema depende 100 % del flujo peatonal, si no hay flujo peatonal no hay generación de energía eléctrica. El aporte de la investigación es encontrar los materiales adecuados y de bajo costo, pueden ser materiales reciclables para que pueda ser viable la realización de baldosas piezoeléctricas.

Burbano (2021) en su tesis “Implementación de un prototipo funcional generador de energía eléctrica a través de una baldosa con elementos piezoeléctricos” tuvo como objetivo el diseño y la implementación de un prototipo de una baldosa piezoeléctrica, la investigación tuvo como resultado la realización de cuatro prototipos de baldosas piezoeléctricas con distintas formas de conexión, determinando que la mejor forma de conexión es la paralela. El aporte de la investigación es que la conexión de las baldosas piezoeléctricas en paralelo es la más adecuada para implementarla.

Ojeda (2019) en su tesis “Diseño de instalación de baldosas piezoeléctricas para iluminar multicancha en la sede viña del mar” tuvo como objetivo el diseño y análisis de la implementación la instalación de baldosas piezoeléctricas en la iluminación de la multicancha de la USM, luego de la recopilación de la información, el proyecto necesito de 12 baldosas, 4 focos led de 250W para la iluminación, conjuntamente con otros accesorios y se concluyó que se logró cubrir la energía necesaria logrando

satisfacer el objetivo principal. El aporte de la investigación nos permitirá escoger el tipo de carga para la baldosa piezoeléctrica.

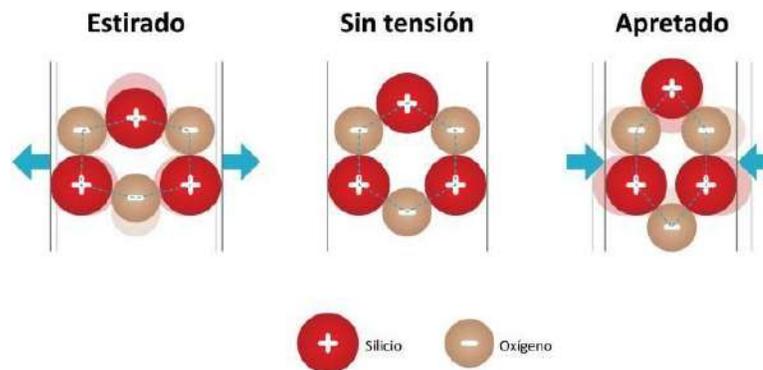
2.2. Marco teórico

Efecto piezoeléctrico

Algunos materiales presentan este fenómeno físico como es el caso de los cristales en donde aparece una diferencia de potencial en otras palabras un voltaje, todo ello sucede sólo cuando el material es deformado (Morocho & Ordoñez, 2020).

Normalmente, cuando el cristal no está bajo ningún tipo de estrés externo, las cargas se dispensan uniformemente en las moléculas a través del cristal. Pero cuando el cuarzo se estira o exprime, el orden de los átomos cambia ligeramente. Este cambio causa que las cargas negativas se acumulen en un lado y las cargas positivas se acumulen en el lado opuesto. Cuando haces un circuito que conecta un extremo del cristal con el otro, puedes utilizar esta diferencia de potencial para producir corriente. Entre más aprietas el cristal más fuerte será la corriente eléctrica. Por el contrario, enviar una corriente eléctrica a través del cristal cambia su forma. (Ver figura 1)

Figura 1
Efecto piezoeléctrico

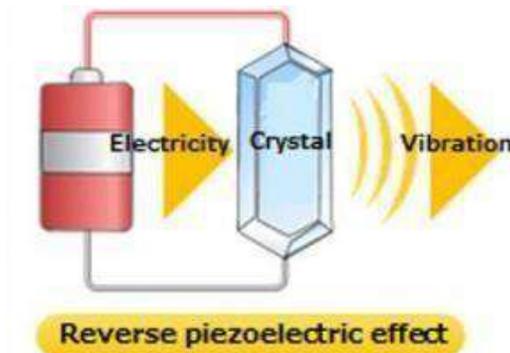


Nota. Cuando se envía una corriente eléctrica a través del cristal cambia su forma. Extraído de (Fischer & Duarte, 2018)

Disco piezoeléctrico

Son sensores en los cuales su principio de funcionamiento es la deformación del material piezoeléctrico contenido y mediante una fuerza tiende a polarizarse eléctricamente provocando un campo eléctrico el cual puede utilizarse como energía mecánica para posteriormente transformarse en energía eléctrica. (Ver figura 2)

Figura 2
Generación de electricidad mediante tecnología piezoeléctrica



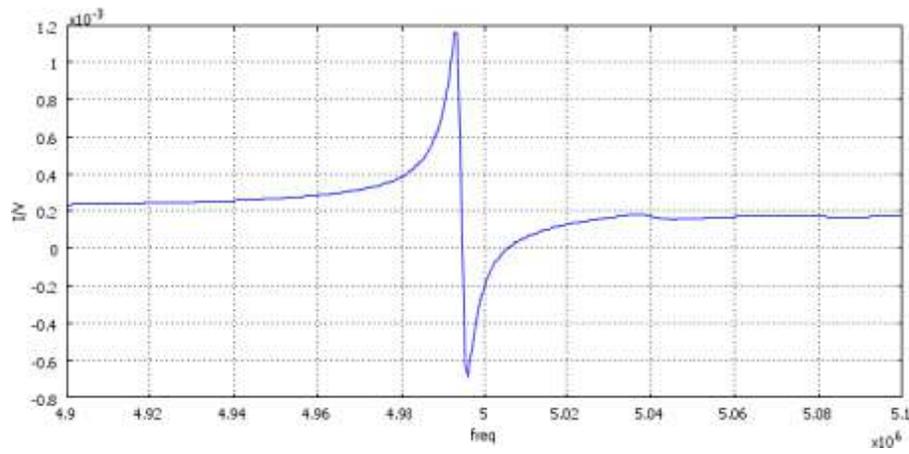
Nota. Generación de electricidad mediante el efecto piezoeléctrico inverso. Extraído de (Fischer & Duarte, 2018)

Comportamiento del piezoeléctrico bajo carga cuasi estática

Este comportamiento radica en la aparición de dos picos de voltaje, uno positivo el cual aparece cuando la fuerza es aplicada al disco piezoeléctrico y otro negativo, el cual aparece en el instante en que retira la fuerza del componente piezoeléctrico. (Ver figura 3)

Figura 3

Comportamiento cuasi estático

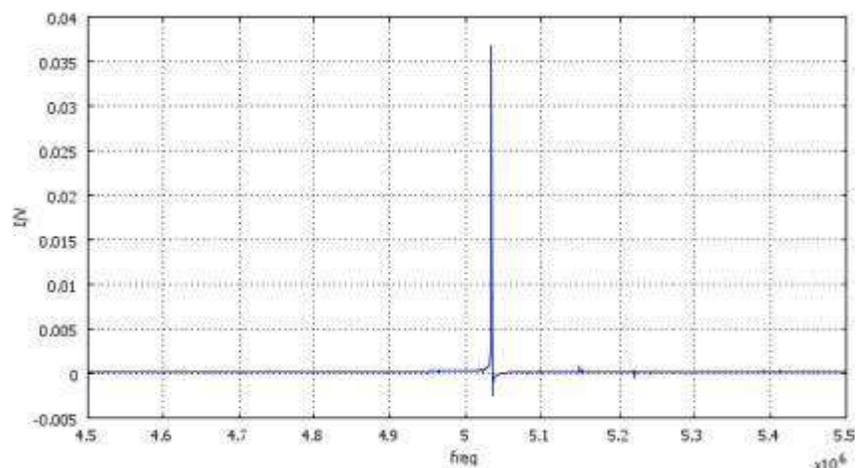


Nota. Comportamiento cuasi estático mediante la aparición de dos picos de voltaje. Extraído de (Fischer & Duarte, 2018)

Comportamiento del piezoeléctrico bajo carga dinámica

Este tipo de comportamiento solo aparece un pico muy alto de voltaje y en general es diez veces mayor al anterior comportamiento, a continuación, se presenta una figura donde se verifica el comportamiento. (Ver figura 4)

Figura 4
Comportamiento bajo carga dinámica

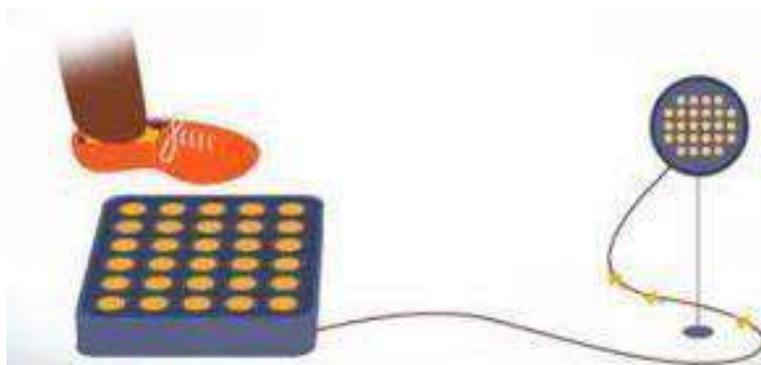


Nota. Comportamiento bajo carga dinámica mediante la aparición de un pico de alto voltaje. Extraído de (Fischer & Duarte, 2018)

Baldosas piezoeléctricas

Una baldosa piezoeléctrica está compuesta por diferentes dispositivos piezoeléctricos, los cuales al ejercer una fuerza en su superficie generan electricidad, es decir que aprovechan la energía cinética para transformarla en electricidad, las aplicaciones pueden ser diversas como en sistemas de iluminación señaléticas y provisiones de electricidad, etc. (Ver figura 5)

Figura 5
Baldosas piezoeléctricas



Nota. Baldosa piezoeléctrica mediante la ejecución de una fuerza en su superficie para generar electricidad. Extraído de (Morocho & Ordoñez, 2020)

Energía alternativa

Son todas aquellas energías que no son convencionales, es así que la generación de energía con materiales piezoeléctricos es una tecnología amigable con el medio ambiente, su funcionamiento se basa en las vibraciones producto de una fuerza, ésta última debe variar en el tiempo para la generación de un voltaje constante. En la última década esta tecnología ha logrado captar una gran atención es así que se han desarrollado sistemas que favorecen la conversión de energía (Rodríguez & Alvarado, 2021).

2.3. Marco conceptual

Piezolectricidad

Es la capacidad que tienen ciertos materiales (cristales y ciertas cerámicas) para generar un voltaje en reacción al estrés mecánico, actualmente estos materiales son utilizados para la transformación de la energía mecánica en energía eléctrica y, forma parte de un gran número de iniciativas harvesting de energía (Dávila, Gámez, Melo, & Pimienta, 2019)

Potencia eléctrica

Es la variación respecto del tiempo de entrega o absorción de la energía, medida en watts (W).

Energía eléctrica

Es la capacidad para realizar trabajo, medida en joules (J)

2.4. Sistema de hipótesis

General

La energía eléctrica generada por la baldosa piezoeléctrica queda caracterizada por las conexiones serie y paralelo de los generadores que la conforman.

Variables e indicadores (cuadro de Operacionalización de variables)

2.5. Variables. Operacionalización de variables

Tabla 1
Operacionalización de la variable independiente

Variable Independiente	Definición Conceptual	Indicador	Unidad de medida	Técnica	Instrumento
Conexión de generadores piezoeléctricos	Capturar la energía mecánica del tránsito a pie y convertirla en energía eléctrica (Ibañez, 2012)	Número de sensores piezoeléctricos	-----	Observación	Guía de observación
	Forma de conexión que soportan	-----	Kg		

Tabla 2
Operacionalización de la variable dependiente

Variable Dependiente	Definición Conceptual	Indicador	Unidad de medida	Técnica	Instrumento
Energía eléctrica	Cantidad utilizada de energía eléctrica en un espacio determinado (Quispe & Tonato, 2021)	Voltaje	V	Observación	Guía de observación
		Corriente	A		
		Potencia	Vatios		

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación es aplicada y el nivel de investigación es Explicativa.

3.2. Población y muestra del estudio

3.2.1. Población

Es definida por Hernández y Mendoza (2018) como el conjunto de individuos, acciones, procesos u otras características que permiten representarlo en un conjunto que las cuales las asocian a una unidad de estudio. La población de estudio será la energía alternativa generada por las baldosas piezoeléctricas.

3.2.2. Muestra

La muestra de estudio será los tipos de conexiones de los generadores piezoeléctricos en una baldosa.

3.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación es Preexperimental.

Tabla 3
Esquema del diseño de investigación

Grupo	Pre Prueba	Tratamiento	Post prueba
GE	O1	X	O2

Leyenda:

GE: Grupo de estudio

O1: Conexión de los generadores piezoeléctrico de la baldosa

X: Fuerzas externas

O2: Energía eléctrica

3.4. Técnicas e instrumentos de la investigación

Para el estudio se requerirá de técnicas que permitan la recolección de la información, las técnicas que se utilizaran se definen de la siguiente manera:

Observación: Se utiliza para recopilar información y datos de manera confiable ya que interactúa con los sentidos para un registro sistemático, permitiendo validar las respuestas (Azucero, 2019). Como resultado, el enfoque se utilizará para recopilar información sobre los parámetros eléctricos del sistema de energía alternativa de baldosas piezoeléctricas.

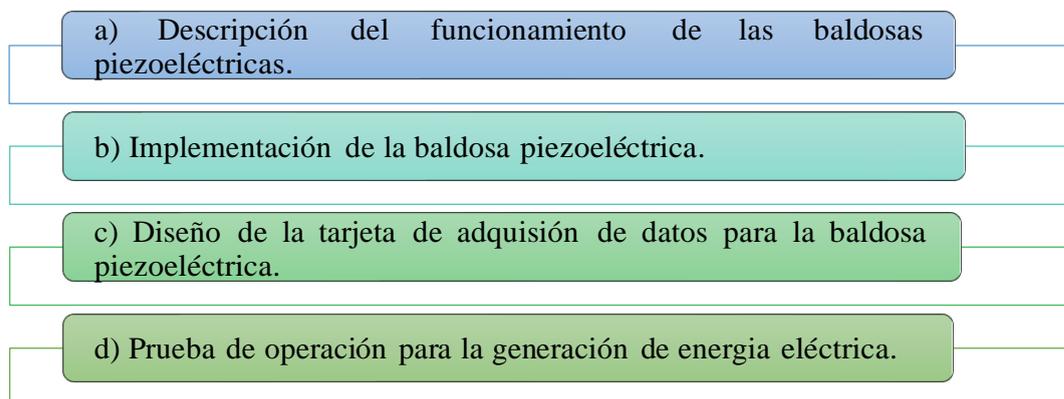
Guía de observación: Según Hernández y Mendoza (2018) indican que las guías de observación se emplean para recopilar información sobre la investigación en cuestión, por lo que este proyecto utilizará formatos de registro para conocer la cantidad de energía generada.

3.5. Procesamiento y análisis de resultados

En la figura 6 se precisa los procedimientos a realizar en la investigación a fin de cumplir con los objetivos trazados.

Figura 6

Procedimiento para el cumplimiento de objetivos



IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El estudio se inició con la compra de los materiales, insumos y equipos necesarios para la investigación. Luego se realizó la fabricación del prototipo de piso tipo baldosa piezoeléctrica, que consistió en tres placas, la primera de fierro de 1 mm de espesor, sobre esta capa se colocó el tablero de viruta orientada (OSB) y aquí es donde se colocaron e instalaron los discos piezoeléctricos de titanato de circonato de plomo (PZT) en diferentes configuraciones eléctricas y de posición, estos discos se aseguraron en la placa OSB con tornillos flat avellanados de 6 x 3/8" y se conectaron con cable de color rojo y negro de 22 AWG los cuales fueron soldados con estaño y cautín, cada disco piezoeléctrico tenía pegado un material de jebe de 1.5 x 1 mm en la parte superior e inferior, con estos jebes se dio una altura de 1 mm a los discos piezoeléctricos con respecto a la placa OSB, para conseguir que los discos se deformen y/o flexionen con cada pisada que se ejerce en la superficie de la baldosa.

La tercera y última capa que es de fierro de 1mm de espesor tenía un caucho de protección de 1mm en la parte inferior y otro caucho de 20 mm en la parte superior,

después se indicó a tres personas de distinta masa corporal pisar la baldosa piezoeléctrica en cada configuración eléctrica y de posición. El voltaje generado por la pisada de las distintas personas se midió 10 veces con un osciloscopio calibrado, y se fueron anotando en la ficha de registro.

Medición de la masa correspondientes a las personas que participaron en la investigación

Figura 7

Medición del peso de la primera persona = 70.70kg



Figura 8

Medición del peso de la segunda persona 72.10kg

**Figura 9**

Medición del peso de la tercera persona 85.85kg



En las figuras 10 y 11, se muestra el prototipo de baldosa piezoeléctrica de 40 cm de largo x 40 cm de ancho, conformado por una base de fierro de 1 mm de espesor, una segunda capa de tablero de viruta orientada (OSB) de 9 mm de espesor, sobre la cual se instalaron los discos piezoeléctricos PZT de 41 mm de diámetro total, cabe recalcar que el diámetro interior del disco que corresponde a la cerámica es de 23 mm; y, finalmente

una tercera capa de hierro de 1mm de espesor que tenía un caucho de protección de 1mm en la parte inferior y otro caucho de 2 cm en la parte superior.

Figura 10

Prototipo del sistema piezoeléctrico



Figura 11

Baldosa piezoeléctrico de 40cmx40cm



Según se observa en la figura 12, la generación de voltaje es alterna de forma de impulsos, por lo que será necesario extraer su valor absoluto mediante la rectificación de onda completa.

Figura 12

Osciloscopio empleado en la medición de voltajes



Los resultados obtenidos, se exponen a continuación de acuerdo al orden de los objetivos propuestos en la investigación:

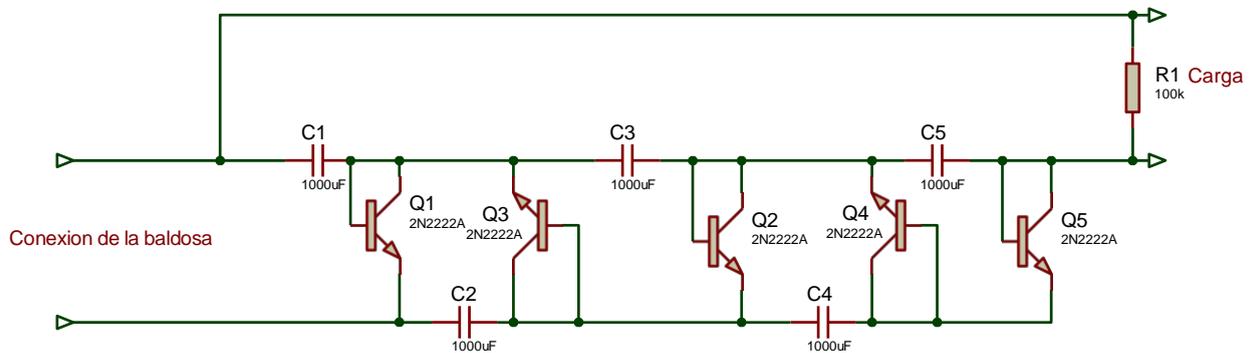
En la figura 13, se muestra el circuito extractor de tensión de la baldosa piezoeléctrica, este está conformado por cinco transistores que desarrollan la función de multiplicador de tensión debido a que señal de entrada es de tipo alterna (cambia de polaridad), el voltaje contenido en C1 es la amplitud de la señal de entrada aproximadamente y en C3 y C5 es el doble de la amplitud de la señal de entrada (siempre y cuando la señal de entrada sea simétrica).

El uso de los transistores es debido a que tienen mejor velocidad de respuesta que los diodos rectificadores. En C2 y C4 se almacena el doble de la amplitud de la señal de entrada.

La suma de voltajes contenidos en C1, C3 y C5 permiten quintuplicar el voltaje generado por la baldosa mientras que los voltajes contenidos en C2 y C4 cuatuplican el voltaje de entrada, de esta manera se usó los voltajes contenidos en C1, C3 y C5 ya que estos generan la mayor cantidad de voltaje.

Figura 13

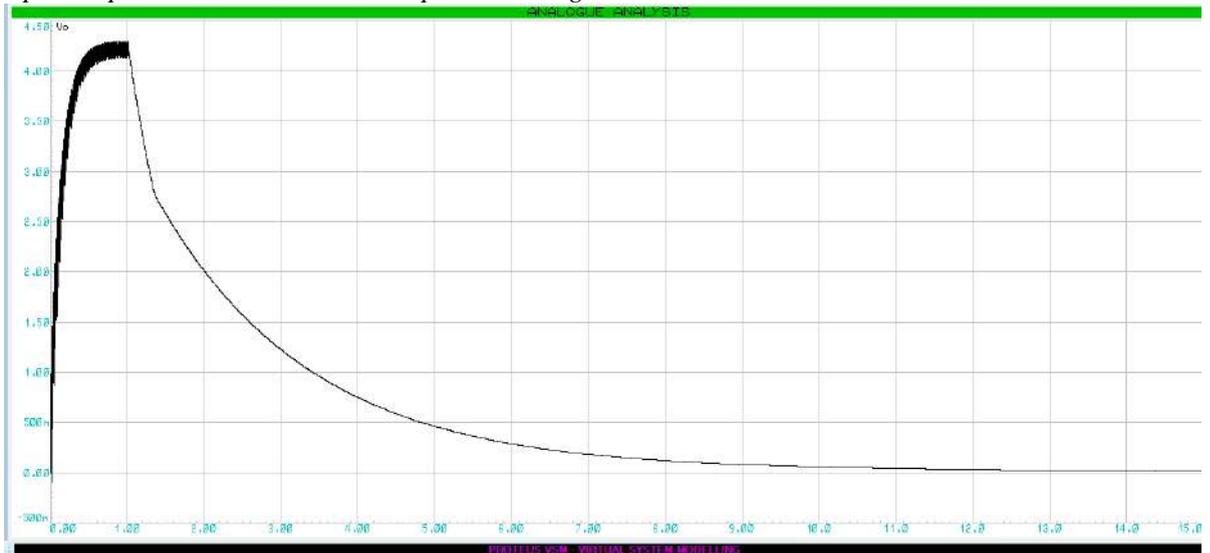
Circuito extractor de tensión de la baldosa piezoeléctrica



En la siguiente figura 14, se observa que en el tiempo comprendido desde 0 hasta 1 segundo, la baldosa genera energía y el circuito multiplicador la almacena en los condensadores C1, C3 y C5. En el tiempo comprendido desde 1 hasta 15 segundos, se produce la descarga de la energía generada por la baldosa en una carga de 100k. Además, tener en cuenta que la amplitud generada por la baldosa es de 0.86v para un peso de 70.70kg.

Figura 14

Tiempo comprendido desde 0 hasta 1s para 70.70Kg



En la siguiente figura 15, se observa que en el tiempo comprendido desde 0 hasta 1 segundo, la baldosa genera energía y el circuito multiplicador la almacena en los condensadores C1, C3 y C5. En el tiempo comprendido desde 1 hasta 15 segundos, se produce la descarga de la energía generada por la baldosa en una carga de 100k. Además,

tener en cuenta que la amplitud generada por la baldosa es de 0.96v para un peso de 72.10kg.

Figura 15

Tiempo comprendido desde 0 hasta 1s para 72.10Kg



En la siguiente figura 16, se observa que en el tiempo comprendido desde 0 hasta 1 segundo, la baldosa genera energía y el circuito multiplicador la almacena en los condensadores C1, C3 y C5. En el tiempo comprendido desde 1 hasta 15 segundos, se produce la descarga de la energía generada por la baldosa en una carga de 100k. Además, tener en cuenta que la amplitud generada por la baldosa es de 1.38v para un peso de 85.85kg.

Figura 16

Tiempo comprendido desde 0 hasta 1s para 85.85Kg



Cálculo de la energía generada por la baldosa

De las gráficas obtenidas anteriormente procedemos a calcular la energía generada por la baldosa.

El tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 70.70kg se da desde 1s hasta 11s, por tanto, el intervalo de tiempo es de 10s, y la amplitud de inicio de la descarga exponencial es de 2.18v. Como se observa en la figura 17.

Para 70.70Kg

$$f(t) = 2.18e^{-at}$$

$$f(1) = 0.877 = 2.18e^{-a}; \quad a = \ln\left(\frac{2.18}{0.877}\right)$$

$$f(t) = 2.18e^{-\ln\left(\frac{2.18}{0.877}\right)t} = 2.18\left(\frac{2.18}{0.877}\right)^{-t}$$

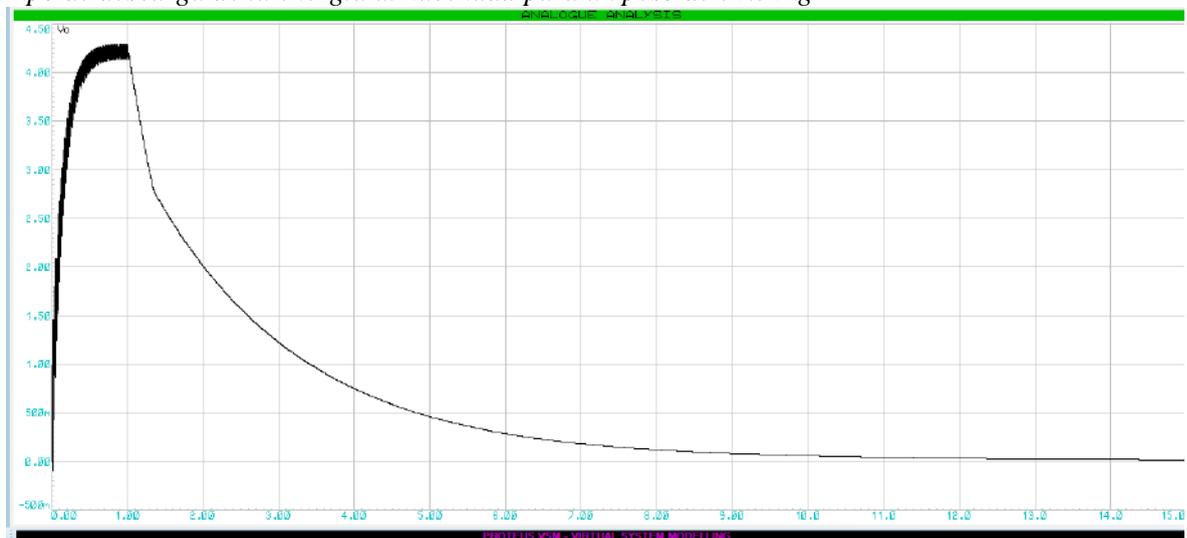
$$E = \int_0^{10} \frac{(2.18e^{-at})^2}{R} dt = \frac{(2.18)^2}{100k} \int_0^{10} e^{-2at} dt = \frac{(2.18)^2}{100k} \left(\frac{e^{-2at}}{-2a}\right) \Big|_0^{10}$$

$$E = \frac{(2.18)^2}{100k(2a)} (1 - e^{-20a}) = \frac{(2.18)^2}{100(2a)} (1 - e^{-20a}) mJ$$

$$E = 0.0259 mJ$$

Figura 17

Tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 70.70kg



El tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 72.10kg se da desde 1s hasta 11s, por tanto, el intervalo de tiempo es de 10s, y la amplitud de inicio de la descarga exponencial es de 4.83v. Como se observa en la figura 18.

Para 72.10Kg

$$f(t) = 4.83e^{-at}$$

$$f(1) = 2.3 = 4.83e^{-a}; a = \ln\left(\frac{4.83}{2.3}\right)$$

$$f(t) = 4.83e^{-\ln\left(\frac{4.83}{2.3}\right)t} = 4.83\left(\frac{4.83}{2.3}\right)^{-t}$$

$$E = \int_0^{10} \frac{(4.83e^{-at})^2}{R} dt = \frac{(4.83)^2}{100k} \int_0^{10} e^{-2at} dt = \frac{(4.83)^2}{100k} \left(\frac{e^{-2at}}{-2a}\right) \Big|_0^{10}$$

$$E = \frac{(4.83)^2}{100k(2a)} (1 - e^{-20a}) = \frac{(4.83)^2}{100(2a)} (1 - e^{-20a}) mJ$$

$$E = 0.1570mJ$$

Figura 18

Tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 72.1kg



El tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 85.85kg se da desde 1s hasta 11s, por tanto, el intervalo de tiempo es de 10s, y la amplitud de inicio de la descarga exponencial es de 6.92v. Como se observa en la figura 17

Para 85.85Kg

$$f(t) = 6.92e^{-at}$$

$$f(1) = 3.5 = 6.92e^{-a}; a = \text{Ln}\left(\frac{6.92}{3.5}\right)$$

$$f(t) = 6.92e^{-\text{Ln}\left(\frac{6.92}{3.5}\right)t} = 20\left(\frac{6.92}{3.5}\right)^{-t}$$

$$E = \int_0^{10} \frac{(6.92e^{-at})^2}{R} dt = \frac{(6.92)^2}{100k} \int_0^{10} e^{-2at} dt = \frac{(6.92)^2}{100k} \left(\frac{e^{-2at}}{-2a}\right) \Big|_0^{10}$$

$$E = \frac{(6.92)^2}{100k(2a)} (1 - e^{-20a}) = \frac{(6.92)^2}{100(2a)} (1 - e^{-20a}) mJ$$

$$E = 0.3512 mJ$$

Figura 19

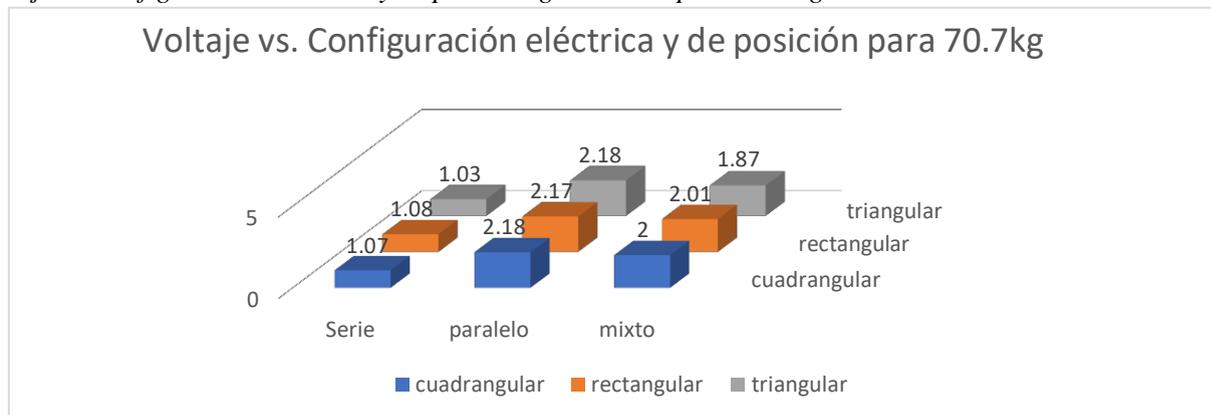
Tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 85.85kg



En la figura 20 se observa cómo cambia el voltaje generado por la baldosa para diferentes conexiones eléctricas con un peso de 70.7kg. Donde se evidencia que la mayor cantidad de tensión eléctrica se obtiene para una disposición cuadrangular y conexión paralelo.

Figura 20

Voltaje vs Configuración eléctrica y disposición geométrica para 70.7Kg



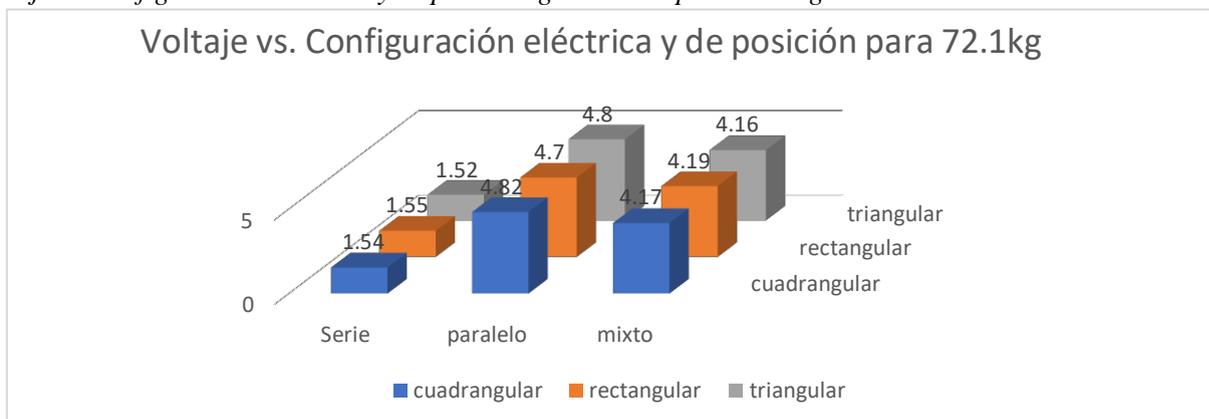
En la tabla 4, se muestra cómo cambia el voltaje generado por la baldosa para diferentes conexiones eléctricas (serie, paralelo, mixto) con un peso de 70.7kg. Donde se evidencia que la mayor cantidad de voltaje para 70.7kg se obtiene para una disposición geométrica cuadrangular y conexión eléctrica en paralelo.

Tabla 4

Voltaje generado para 70.70Kg

Voltaje generado para 70.70Kg			
Disposición geométrica	Conexión Serie (v)	Paralelo (v)	Mixto(v)
Cuadrangular	1.07	2.18	2
rectangular	1.08	2.17	2.01
triangular	1.03	2.18	1.87

En la figura 21, se muestra cómo cambia el voltaje generado por la baldosa para diferentes conexiones eléctricas con un peso de 72.1kg. Donde se evidencia que la mayor cantidad de tensión eléctrica se obtiene para una disposición cuadrangular y conexión paralelo.

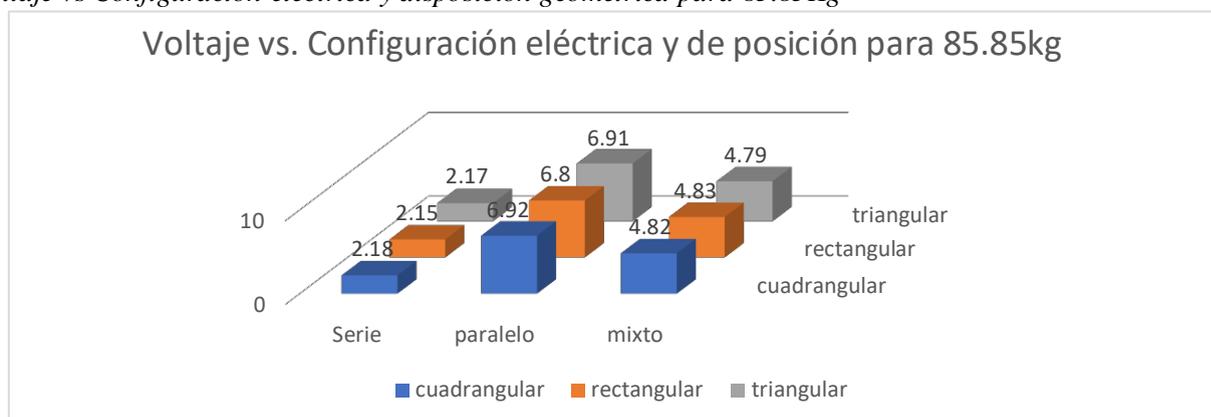
Figura 21*Voltaje vs Configuración eléctrica y disposición geométrica para 72.1Kg*

En la tabla 5, se muestra cómo cambia el voltaje generado por la baldosa para diferentes conexiones eléctricas (serie, paralelo, mixto) con un peso de 72.10kg. Donde se evidencia que la mayor cantidad de voltaje para 72.10kg se obtiene para una disposición geométrica cuadrangular y conexión eléctrica en paralelo.

Tabla 5*Voltaje generado para 72.10Kg*

	Voltaje generado para 72.10Kg		
	Serie (v)	Paralelo (v)	Mixto (v)
cuadrangular	1.54	4.82	4.17
rectangular	1.55	4.7	4.19
triangular	1.52	4.8	4.16

En la figura 22, se muestra cómo cambia el voltaje generado por la baldosa para diferentes conexiones eléctricas con un peso de 85.85kg. Donde se evidencia que la mayor cantidad de tensión eléctrica se obtiene para una disposición cuadrangular y conexión paralelo.

Figura 22*Voltaje vs Configuración eléctrica y disposición geométrica para 85.85Kg*

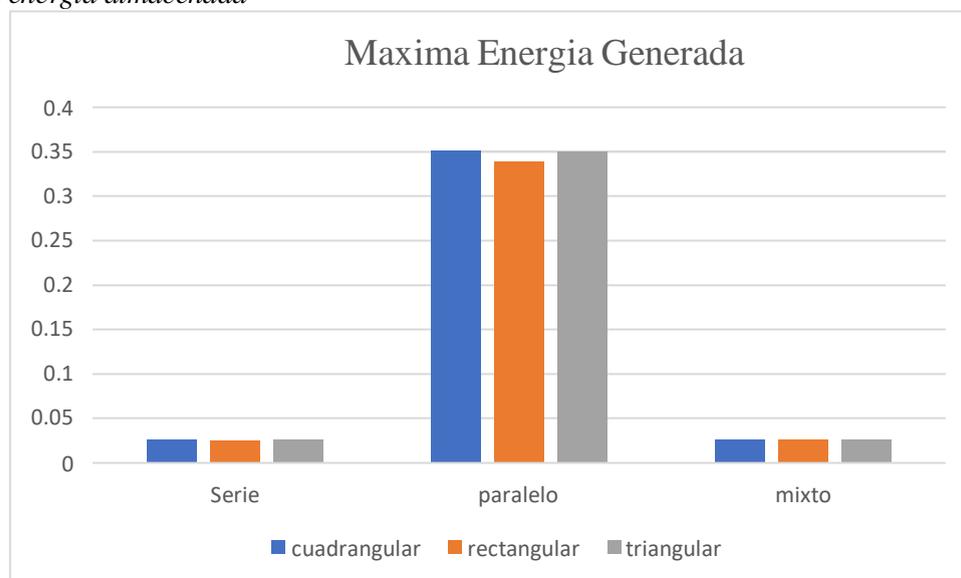
En la tabla 6, se muestra cómo cambia el voltaje generado por la baldosa para diferentes conexiones eléctricas (serie, paralelo, mixto) con un peso de 85.85kg. Donde se evidencia que la mayor cantidad de voltaje para 85.85kg se obtiene para una disposición geométrica cuadrangular y conexión eléctrica en paralelo.

Tabla 6*Voltaje generado para 85.85Kg*

	Voltaje generado para 85.85Kg		
	Serie (v)	Paralelo (v)	Mixto (v)
Cuadrangular	2.18	6.92	4.82
rectangular	2.15	6.8	4.83
triangular	2.17	6.91	4.79

En la figura 23, se muestra cómo cambia la energía generada por la baldosa para diferentes conexiones eléctricas serie, paralelo, mixto y geometría. Donde se evidencia que la mayor cantidad de energía eléctrica se obtiene para una disposición cuadrangular y conexión paralelo donde su valor es de 0.3512mJ.

Figura 23
Máxima energía almacenada



En la tabla 7, se muestra la máxima energía generada por la baldosa para diferentes conexiones eléctricas (serie, paralelo, mixto). Donde se evidencia que la mayor cantidad de energía se obtiene para una disposición geométrica cuadrangular y conexión eléctrica en paralelo.

Tabla 7
Máxima energía generada

	Máxima Energía Generada		
	Serie (mJ)	Paralelo (mJ)	Mixto (mJ)
cuadrangular	0.025932817	0.351251711	0.025932817
rectangular	0.025223981	0.339175196	0.026040534
triangular	0.025695447	0.350237266	0.025611006
Energía Máxima en mJ	0.025932817	0.351251711	0.157004301

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El primer objetivo específico planteado en la investigación se refiere a la implementación de un prototipo de sistema piezoeléctrico con material de titanato de circonato de plomo (PZT) para la generación de energía eléctrica. Según Visconti et al. (2022) un prototipo de baldosa o mosaico piezoeléctrico son tipos de plataformas que generan electricidad al ser pisadas por las personas, en donde la cantidad de energía generada depende de factores como la configuración del sistema y el material piezoeléctrico. Como resultado se presentó un prototipo de baldosa piezoeléctrica de 40 cm de largo x 40 cm de ancho, en donde se instalaron los discos de cerámica PZT de 41 mm, debido a su alta respuesta piezoeléctrica, disponibilidad y bajo costo; lo cual coincide con la investigación de Uchino (2018) quien demostró que era posible la recolección de energía eléctrica con discos piezoeléctricos PZT; además Roscow et al. (2019) evidenció que la porosidad de la cerámica PZT mejora el rendimiento de recolección de energía. Respecto al prototipo elaborado en este estudio, cuenta con dimensiones similares a las consideradas por la marca Sustainable Energy Floor de 75 cm x 75 cm y la marca Waynergy de 40 cm x 40 cm, que fueron puestas a prueba en las investigaciones de Moussa (2020) y en el estudio comparativo de Solban y Moussa (2021), respectivamente. En ambos estudios demostraron ser las baldosas piezoeléctricas con mayor eficiencia, al igual que el prototipo de la empresa Pavegen que fue evaluado por Vizzari et al. (2021). Por lo cual, teniendo en cuenta los antecedentes y las coincidencias, se puede afirmar que el prototipo del sistema piezoeléctrico implementado en la presente investigación es el más idóneo respecto a sus dimensiones y características para la generación de energía eléctrica.

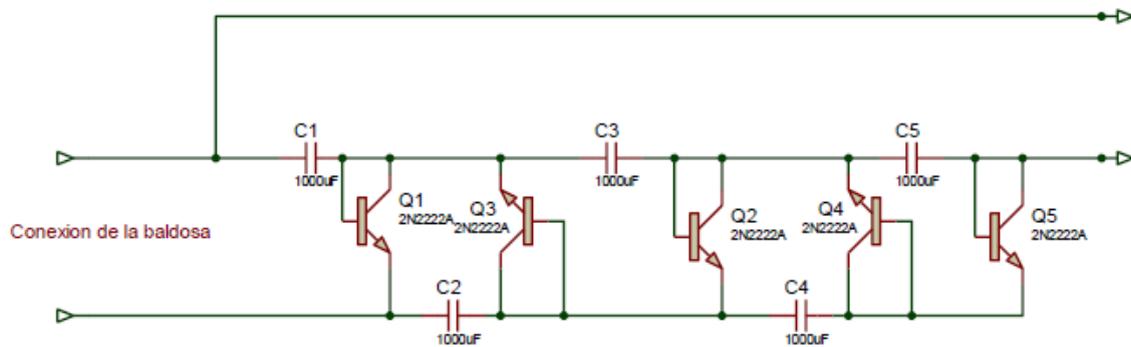
El segundo objetivo específico consistió en desarrollar la tarjeta que permita medir la energía eléctrica. En un primer instante se optó por recolectar la energía conectando los generadores piezoeléctricos en serie, paralelo y mixto directamente, lo que dio origen a una mala medida de nivel de voltaje generado ya que cada generador tenía tensión alterna y fase diferente, lo que permitía que el voltaje se cancelará en algunas ocasiones y en otras aumentara, por lo que se optó por un multiplicador de tensión basado en transistores BJT 2N222A para minimizar pérdida de tensión y de velocidad. El cual solamente acumula la amplitud pico de la señal alterna multiplicándola por un

número impar ($2n - 1$), o un número par ($2n$). De esta manera se logró obtener el mayor potencial posible de la tensión generada por la baldosa.

Figura 24

Circuito experimental para almacenamiento de energía

$V_p(2n - 1)$



El tercer objetivo específico consistió en medir la energía generada por la baldosa piezoeléctrica sometida a fuerzas externas.

- La energía generada por la baldosa fue medida haciendo uso de la definición de cálculo de energía.

$$E = \int_0^{\infty} \frac{V(t)^2}{R} dt$$

- Debido a que el voltaje generado por la baldosa presenta una característica exponencial, como se muestra en las figuras xx, se determinó los parámetros de dicha función.

$$V(t) = Ae^{-at}$$

El valor de A es la amplitud máxima de la tensión generada por la baldosa
El valor de a se calculó determinando el valor del voltaje en el tiempo $t=1s$

$$V(1) = Ae^{-a}$$

$$a = \ln\left(\frac{A}{V(1)}\right)$$

- Obteniéndose la máxima energía de 0.35mJ para un peso de 85.85Kg como se indica en la figura 23.

CONCLUSIONES

- Se describió el funcionamiento de la baldosa piezoeléctrica notándose una característica exponencial lográndose amplitudes de 6.92v en una configuración eléctrica paralelo y una disposición física rectangular.
- Se diseñó el sistema que permite capturar la tensión de la baldosa, el cual está constituido por un multiplicador de voltaje a base de transistores NPN 2222A, esto se evidencia en la figura 24.
- Se logró medir la máxima energía generada por la baldosa para un peso de 85.5kg. El cual es de 0.35mJ en una configuración eléctrica paralelo y una disposición rectangular.
- La configuración de posición rectangular produce la mayor eficiencia en el sistema piezoeléctrico con material de titanato de circonato de plomo (PZT) para la generación de energía eléctrica.
- La energía generada por la baldosa es muy pequeña (0.35mJ), lo que permitirá que un led se ilumine aproximadamente 2ms. Esto indica que el sistema estudiado no es recomendable para acumulación de energía.

RECOMENDACIONES

- Realizar el estudio de generación de energía con otros tipos de materiales piezoeléctricos con el afán de determinar cuál de ellos genera mayor cantidad de energía eléctrica.
- Continuar los estudios de investigación, enfocándose en la configuración de posición rectangular y triangular además de la configuración eléctrica mixta y en serie, pues son los que muestran mayor voltaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, L., Medina, J., & Morales, L. (2017). Aplicaciones de piezoelectricidad en Ingeniería Civil. *Revista de Ingeniería Civil*, 1(2), 15-26. www.ecorfan.org/republicofperu
- Arévalo, L., & Lamprea, D. (2019). *Diagnóstico para la implementación de baldosas piezoeléctricas como alternativa de energía renovable en la Universidad Santo Tomás Villavivencio campus Aguas Claras*. Universidad Santo Tomás, Villavicencio. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18494/2019lauraarevalo.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Azuero, A. Á. (diciembre de 2019). Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación. *KOINONIA*, IV, 110-127. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7062667>
- Benavente, L. (2020). *Reducción de costos energéticos simulando un sistema piezoeléctrico, para la UTP*. Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3345>
- Burbano, J. (2021). Implementación de un prototipo funcional generador de energía eléctrica a través de una baldosa con elementos piezoeléctricos. Universidad Católica de Colombia, Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/26272>
- Cusiano et al. (2020). Eficiencia energética en sistemas eléctricos de micro, pequeñas y medianas empresas del sector de alimentos. Simulación para optimizar costos de consumo de energía eléctrica. *Información Tecnológica*, 31(2), 267-276. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000200267>
- Dávila, A., Gámez, E., Melo, G., & Pimienta, R. (2019). Desarrollo de un prototipo de losa generadora de energía eléctrica usando sensores piezoeléctricos. *Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales, Tecnología e Innovación*, 4(1), 8-18. <http://revistas.sena.edu.co/index.php/rnt/article/view/3515/3951>
- De Sousa, C., & Manganiello, L. (2018). Estado Arte: Aplicaciones de los sensores piezoeléctricos en la detección de elementos contaminantes en alimentos. *INGENIERÍA UC*, 25(3). <https://www.redalyc.org/journal/707/70757670014/html/>

- Estabilizadores Work. (2017). Inversores de corriente para sistemas fotovoltaicos. *Ingeniería Eléctrica*.
- Fischer, E., & Duarte, G. (2018). *Generación de energía con materiales piezoeléctricos*. Universidad Nacional de Mar de Plata, Mar de Plata. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/handle/123456789/315?show=full>
- Hernández, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Santa Fe: McGRAW-HILL Interamericana Editores S.A. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1292/1/Hern%C3%A1ndez-%20Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n.pdf>
- Inga et al. (2018). Reconstrucción del patrón de consumo eléctrico a partir de Big Data mediante técnica de MapReduce. *Enfoque UTE*, 9(1), 177-187. doi:<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n1.220>
- López, M., & Prudencio, D. (2020). *Energía renovable obtenida a partir del diseño e implementación de un prototipo piezoeléctrico adaptado a un somier aprovechando el movimiento corporal*, Lima 2020. Universidad César Vallejo, Lima. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57599?show=full>
- Luna, E., Laguado, M., & Sepúlveda, S. (2018). Controladore de carga PWM eficiente y de bajo costo para sistemas fotovoltaicos autónomos. *Respuestas*, 23(S1), 6-13. doi:<https://doi.org/10.22463/0122820x.1491>
- Manayay, M. (2020). *Sistema de iluminación mediante baldosas con generadores piezoeléctricos para reducir el consumo de energía eléctrica en la discoteca Tarima – Chiclayo*. Universidad César Vallejo, Chiclayo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/57194/Manayay_FM A-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mercado et al. (2018). Efecto de la ventilación natural en el consumo energético de un edificio bioclimático. Análisis y estudio mediante energy plus. *Revista hábitat sustentable*, 8(1), 54-67. doi:<http://dx.doi.org/10.22320/07190700.2018.08.01.05>
- metro cuadrado. (6 de setiembre de 2021). *Las baldosas inteligentes que generan energía con cada paso*. metro cuadrado: <https://www.metrocuadrado.com/noticias/actualidad/las-baldosas-inteligentes-que-generan-energia-con-cada-paso-2641/>

- Ministerio de energía de Chile. (2019). *Tomo III. Guía de Apoyo Para Estudiantes: Programa En Energía Solar Fotovoltaica Para Liceos EMTP*. Ministerio de energía de Chile:
https://www.miennergia.cl/sites/default/files/1.3_tomo_iii_guia_estudiante.-.pdf
- Ministerio de Energía y Minas. (2019). *Anuario estadístico de electricidad 2018*.
http://www.minem.gob.pe/_estadistica.php?idSector=6&idEstadistica=13285
- Morocho, B., & Ordoñez, B. (2020). Ingeniería básica de una baldosa piezoeléctrica para el harvesting de energía ambiental. *Departamento Electrónica y Energía, Universidad Técnica Particular de Loja*.
<https://es.scribd.com/document/399650327/Ingenieria-de-diseno-de-baldosas-piezoelctricas>
- Núñez, M. (2018). *Aprovechamiento de la tecnología piezoeléctrica para la generación de energía eléctrica en la pista de baile de la discoteca Cayet - distrito de Soritor - departamento de San Martín*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, San Martín.
<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/2174>
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J. J., & Romero, H. E. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 5). Bogotá: Ediciones U.
https://books.google.com.pe/books?id=KzSjDwAAQBAJ&pg=PA162&dq=investigaci%C3%B3n+cuantitativa+hernandez&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwik4rn-IO_uAhWKTjABHarqDh0Q6AEwAnoECAYQAg#v=onepage&q&f=false
- Ojeda, E. (2019). *Diseño de instalación de baldosas piezoeléctricas para iluminar multicancha en la sede Viña del Mar*. Universidad Técnica Federico Santa María.
<https://repositorio.usm.cl/handle/11673/48052>
- Pilicita, A., & Cevallos, D. (2019). Innovación tecnológica de un sistema integral para monitorear el consumo eléctrico. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*(22), 9-16. doi:<https://doi.org/10.17163/ings.n22.2019.01>
- Reátegui, C., Renato, P., Rubina, Z., & Fernando, R. (2017). *Proyecto de viabilidad para implementar un sistema de generación de energía renovable en las estaciones de la línea 1 del tren eléctrico de Lima*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/623982>
- Rodríguez, J., & Alvarado, J. (2021). *Desarrollo de un prototipo basado en dispositivos piezoeléctricos para generar energía eléctrica alternativa y alimentar el alumbrado público del puente de la unidad nacional*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/56488/1/B-CINT-PTG-N.681%20Rodr%3%adguez%20Viteri%20Julia%20Elizabeth%20.%20Alvarado%20Veloz%20Joffre%20Alexander%20.pdf>

Soria, W. (2019). *Investigación del aporte energético en la utilización de la baldosa piezoeléctrica como una fuente de energía renovable para alimentar sistemas eléctricos de iluminación de bajo consumo*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/14069/>

Statista Research Department. (2020). *Porcentaje de población dispuesta a cambiar de hábitos para ahorrar energía en casa a nivel mundial en 2020, por países*. <https://es.statista.com/estadisticas/1181772/ahorro-de-energia-poblacion-global-dispuesta-a-realizar-cambios-por-pais/>