

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

---

Estudio comparativo entre las tecnologías de generación eléctrica de efecto piezoeléctrico  
y efecto inductivo para determinar la relación de sus eficiencias energéticas

---

Línea de investigación: Robótica y automatización avanzada

**Autores:**

Panta Collantes, Luis Marcos

Montenegro Gonzales, Anthony Williams

**Jurado evaluador:**

Presidente: Linares Vértiz, Saúl Noe

Secretario: Ramos Rojas, Ovidio Hildebrando

Vocal: Alvarado Rodríguez, Luis Enrique

**Asesor:**

De La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

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

Trujillo - Perú

2024

Fecha de sustentación: 2024/03/18

# Estudio comparativo entre las tecnologías de generación eléctrica de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo para determinar la relación de sus eficiencias energéticas

*by* Anthony Montenegro Gonzales

---

**Submission date:** 17-May-2024 08:37PM (UTC-0500)

**Submission ID:** 2382034272

**File name:** Tesis\_-\_Luis\_Panta\_Anthony\_Montenegro.pdf (1.45M)

**Word count:** 8308

**Character count:** 47247



Alvaro Rojas  
Ingeniero Electrónico  
CIP 85590

## Estudio comparativo entre las tecnologías de generación eléctrica de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo para determinar la relación de sus eficiencias energéticas

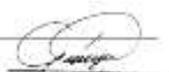
### ORIGINALITY REPORT

**16%**  
SIMILARITY INDEX

**17%**  
INTERNET SOURCES

**0%**  
PUBLICATIONS

**4%**  
STUDENT PAPERS

  
Alfonso Rojas Mijangue de la Cruz Investigador  
Ingeniero Electrónico  
CIP 65546

### PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<b>renati.sunedu.gob.pe</b> Internet Source	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.utc.edu.ec</b> Internet Source	<b>3%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.usil.edu.pe</b> Internet Source	<b>3%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego</b> Student Paper	<b>2%</b>
<b>5</b>	<b>1library.co</b> Internet Source	<b>2%</b>
<b>6</b>	<b>idoc.pub</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.utn.edu.ec</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>dokumen.pub</b> Internet Source	<b>1%</b>

Exclude quotes  On

Exclude bibliography  On

Exclude matches  < 1%

  
Alfonso Rojas Mijangue de la Cruz Investigador  
Ingeniero Electrónico  
CIP 65546

**Jurado de sustentación Oral**

---

Ms. Ing. LINARES VÉRTIZ SAÚL NOE  
N° CIP 142213  
Presidente

---

Ms. Ing. RAMOS ROJAS OVIDIO HILDEBRANDO  
N° CIP 92622  
Secretario

---

Ms. Ing. ALVARADO RODRÍGUEZ LUIS ENRIQUE  
N° CIP 149200  
Vocal

Entregado el:

Aprobado por:

---

PANTA COLLANTES LUIS MARCOS  
DNI: 47421771

---

MONTENEGRO GONZALES ANTHONY WILLIAMS  
DNI: 73451139

---

Ms. Ing. DE LA CRUZ RODRÍGUEZ OSCAR MIGUEL  
N° CIP 85598  
Asesor

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

---

Estudio comparativo entre las tecnologías de generación eléctrica de efecto piezoeléctrico  
y efecto inductivo para determinar la relación de sus eficiencias energéticas

---

Línea de investigación: Robótica y automatización avanzada

**Autores:**

Panta Collantes, Luis Marcos

Montenegro Gonzales, Anthony Williams

**Jurado Evaluador:**

Presidente: Linares Vértiz, Saúl Noe

Secretario: Ramos Rojas, Ovidio Hildebrando

Vocal: Alvarado Rodríguez, Luis Enrique

**Asesor:**

De La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

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

Trujillo - Perú

2024

Fecha de sustentación: 2024/03/18

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, 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 COMPARATIVO ENTRE LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE EFECTO PIEZOELÉCTRICO Y EFECTO INDUCTIVO PARA DETERMINAR LA RELACIÓN DE SUS EFICIENCIAS ENERGÉTICAS”**, de los autores Luis Marcos Panta Collantes y Anthony Williams Montenegro Gonzales.

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 16 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 17 de mayo del 2024.
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis **“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE EFECTO PIEZOELÉCTRICO Y EFECTO INDUCTIVO PARA DETERMINAR LA RELACIÓN DE SUS EFICIENCIAS ENERGÉTICAS”**, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Trujillo, 18 de mayo del 2024



PANTA COLLANTES LUIS MARCOS

DNI: 47421771



MONTENEGRO GONZALES ANTHONY WILLIAMS

DNI: 73451139



DE LA CRUZ RODRÍGUEZ OSCAR MIGUEL:

DNI: 40545044

ORCID: 0000-0001-9207-8558

## **Dedicatoria**

A mi madre y mi padre por ser los protagonistas en cada etapa de mi crecimiento profesional, a mis hermanos porque fueron una motivación constante cada día y a mi abuelita Annabella porque nunca se rindió

Luis Marcos Panta Collantes

A mis padres por prestarme siempre su apoyo incondicional y sus consejos, a mis hermanas porque cada una de ellas me enseñó el compañerismo y a mis amigos por su constante motivación.

Anthony Montenegro Gonzales

## **Agradecimientos**

A Dios en primer lugar, por proveer y darnos la fortaleza para seguir adelante a pesar de las dificultades que se presentaron a lo largo del camino, a nuestras familias por su incansable aliento y siempre estar presentes en los momentos de necesidad, a nuestros amigos por apoyarnos con sus consejos y a nuestros profesores por brindarnos no sólo sus conocimientos si no también su amistad.

Un agradecimiento especial a nuestros familiares que lamentablemente fallecieron y no alcanzaron compartir este momento con nosotros, pero fueron una pieza fundamental en nuestra carrera, siempre los recordaremos y los llevaremos en nuestros corazones.

## **Resumen**

El objetivo de esta investigación fue comparar la eficiencia energética entre las tecnologías de efecto inductivo y piezoeléctrico. Se analizó la conversión de energía potencial en energía eléctrica mediante un sistema electromecánico compuesto por una baldosa y un generador eléctrico tipo dínamo, aprovechando la energía generada por la pisada al caminar. El efecto piezoeléctrico se empleó para convertir la energía mecánica de un objeto con masa en energía eléctrica renovable. La investigación es aplicada y nivel explicativo, ya que buscó explicar las causas en diferentes etapas del estudio, estableciendo secuencias de causa y efecto, con un diseño experimental. Los resultados mostraron que se pudo diseñar una baldosa piezoeléctrica evaluando los parámetros para diferentes masas de 73.2kg, 71.3kg, 70.5kg, 68.2kg y 67.2kg. Se encontró la energía mecánica para el efecto inductivo (180.8mJ, 169.9mJ, 153.4mJ, 139.5mJ y 132.4mJ) y para el efecto piezoeléctrico (0.208mJ, 0.1648mJ, 0.108mJ, 0.090mJ y 0.080mJ). Finalmente, se observó que la eficiencia energética del efecto inductivo en comparación con el capacitivo es constante y menor a 86637.9 para masas superiores a 73.2kg.

**Palabras Clave:** Baldosa, Efecto inductivo, efecto piezoeléctrico.

## **Abstract**

The objective of this research was to compare the energy efficiency between piezoelectric effect and inductive effect technologies. The conversion of potential energy into electrical energy was analyzed using an electromechanical system composed of a tile and a dynamo-type electrical generator, taking advantage of the energy generated by the footprint when walking. The piezoelectric effect was used to transform the mechanical energy of a mass object into renewable electrical energy. The research was of an applied type and explanatory level, since it sought to explain the causes at different stages of the study, establishing cause and effect sequences, with an experimental design. The results showed that a piezoelectric tile could be designed by evaluating the parameters for different masses of 73.2kg, 71.3kg, 70.5kg, 68.2kg and 67.2kg. The mechanical energy was found for the inductive effect (180.8mJ, 169.9mJ, 153.4mJ, 139.5mJ and 132.4mJ) and for the piezoelectric effect (0.208mJ, 0.1648mJ, 0.108mJ, 0.090mJ and 0.080mJ). Finally, it was observed that the energy efficiency of the inductive effect compared to the capacitive effect is constant and less than 86637.9 for masses greater than 73.2kg.

**Keywords:** Tile, Inductive effect, piezoelectric effect.

## **Presentación**

Señores miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno del programa de Estudios de Ingeniería Electrónica para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, se pone a vuestra disposición el presente trabajo de tesis titulado: **“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE EFECTO PIEZOELÉCTRICO Y EFECTO INDUCTIVO PARA DETERMINAR LA RELACIÓN DE SUS EFICIENCIAS ENERGÉTICAS”**.

Esta investigación es el resultado de aplicar los conocimientos adquiridos en la formación profesional en la universidad, perdonando de antemano posibles errores involuntarios en su desarrollo.

Trujillo, mayo del 2024

Br. Luis Marcos Panta Collantes

Br. Anthony Williams Montenegro Gonzales

## **Tabla de contenidos**

<b>Dedicatoria</b> .....	vii
<b>Agradecimientos</b> .....	viii
<b>Resumen</b> .....	ix
<b>Abstract</b> .....	x
<b>Presentación</b> .....	xi
<b>Tabla de contenidos</b> .....	xii
<b>Índice de tablas</b> .....	xiv
<b>Índice de figuras</b> .....	xv
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Problema de investigación .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Justificación del estudio .....	2
<b>II. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	3
2.1. Antecedentes del estudio.....	3
2.2. Marco teórico .....	6
2.3. Marco conceptual .....	9
2.4. Sistema de hipótesis .....	10
2.5. Variables e indicadores .....	10
<b>III. METODOLOGÍA EMPLEADA</b> .....	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 datos .....	18
<b>IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	34
<b>V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	34

<b>CONCLUSIONES</b> .....	41
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	41
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	42
<b>ANEXOS</b> .....	46

## Índice de tablas

Tabla 1: Operacionalización de la variable independiente .....	10
Tabla 2: Operacionalización de la variable dependiente .....	11
Tabla 3: Tensiones y energías eléctricas del sistema piezoeléctrico para diferentes masas	34
Tabla 4: Tensiones y energías eléctricas del sistema inductivo para diferentes masas .....	35
Tabla 5: Parámetros eléctricos del sistema piezoeléctrico .....	38
Tabla 6: Parámetros eléctricos del sistema inductivo .....	38
Tabla 7: Eficiencia energética del sistema inductivo con respecto al sistema piezoeléctrico .....	39
Tabla 8: Prueba t de Student.....	40

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Efecto piezoeléctrico .....	6
<b>Figura 2</b> Disco cerámico piezoeléctrico .....	7
<b>Figura 3</b> Efecto inductivo .....	7
<b>Figura 4</b> Funcionamiento de un Dínamo .....	8
<b>Figura 5</b> Placa de prueba para medición de energía .....	18
<b>Figura 6</b> Modelo preliminar de la baldosa para medición de energía .....	19
<b>Figura 7</b> Diseño del circuito cuadruplicador de tensión .....	19
<b>Figura 8</b> Diseño del circuito quintuplicador de tensión con BJT .....	20
<b>Figura 9</b> Diseño del circuito quintuplicador de tensión con BJT y resistencia de carga.....	21
<b>Figura 10</b> Diseño del circuito quintuplicador de tensión con BJT y diodos rectificadores.....	21
<b>Figura 11</b> Circuito propuesto para el ensayo .....	22
<b>Figura 12</b> Respuesta del sistema para $m=73.2\text{Kg}$ $V_m=21.5\text{V}$ .....	22
<b>Figura 13</b> Respuesta del sistema para $m=71.3\text{Kg}$ $V_m=20.8\text{V}$ .....	23
<b>Figura 14</b> Respuesta del sistema para $m=70.5\text{Kg}$ $V_m=19.8\text{V}$ .....	23
<b>Figura 15</b> Respuesta del sistema para $m=68.2\text{Kg}$ $V_m=16.6\text{V}$ .....	24
<b>Figura 16</b> Respuesta del sistema para $m=67.2\text{Kg}$ $V_m=16.3\text{V}$ .....	24
<b>Figura 17</b> Prototipo de la baldosa piezoeléctrica.....	25
<b>Figura 18</b> Osciloscopio digital utilizado en la medición de tensiones .....	25
<b>Figura 19</b> Diseño del circuito extractor de tensión de la baldosa piezoeléctrica.....	26
<b>Figura 20</b> Tiempo comprendido de 0 a 1s para una masa de 73.2Kg.....	26
<b>Figura 21</b> Tiempo comprendido de 0 a 1s para una masa de 71.3Kg.....	27
<b>Figura 22</b> Tiempo comprendido de 0 a 1s para una masa de 70.5Kg.....	28
<b>Figura 23</b> Duración de la descarga de la energía acumulada para una masa de 73.2kg.....	31
<b>Figura 24</b> Duración de la descarga de la energía acumulada para una masa de 71.3kg.....	32
<b>Figura 25</b> Duración de la descarga de la energía acumulada para una masa de 70.5kg.....	33
<b>Figura 26</b> Tensiones y energías del efecto piezoeléctrico .....	34
<b>Figura 27</b> Tensiones y energías del efecto inductivo .....	35
<b>Figura 28</b> Relación de tensiones inductivas y piezoeléctricas.....	36
<b>Figura 29</b> Relación de energías inductivas y piezoeléctricas .....	36
<b>Figura 30</b> Eficiencia energética para diferentes masas.....	37
<b>Figura 31</b> Eficiencia energética.....	39

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Problema de investigación

En numerosos países de América Latina, incluido Perú, no existen objetivos a mediano y largo plazo para la implementación de energías renovables. Esto se debe a la falta de comunicación entre los distintos niveles de gobierno y a la carencia de una comprensión adecuada sobre el desarrollo energético a nivel global. En el caso específico de Perú, a pesar de ser consciente de sus limitadas reservas de Gas Natural (aproximadamente 8MTpc), se busca vender este recurso a otros países, sin considerar que el desarrollo del país está estrechamente vinculado a este recurso natural no renovable.

El estudio del efecto inductivo enfrenta varios desafíos significativos. La complejidad matemática y el modelado preciso de los campos electromagnéticos son obstáculos clave (González & Ramírez, 2022). Además, la interferencia electromagnética puede complicar el diseño de circuitos electrónicos, afectando la precisión y el rendimiento de los dispositivos (Smith & Johnson, 2021). La tecnología avanzada necesaria para medir y analizar estos efectos es costosa y requiere de personal altamente capacitado (Martínez, 2020).

El estudio del efecto piezoeléctrico también presenta problemas importantes. La disponibilidad y el costo de los materiales piezoeléctricos limitan la investigación y desarrollo a gran escala (López et al., 2023). Los materiales piezoeléctricos están sujetos a desgaste mecánico, afectando su durabilidad y desempeño a largo plazo (Zhang & Lee, 2021). La integración de estos materiales en dispositivos electrónicos pequeños y eficientes es un desafío técnico significativo (Hernández, 2022). Además, las condiciones específicas de temperatura y presión necesarias para su funcionamiento óptimo complican su estudio y aplicación en diversos entornos (Kim, 2020).

Hoy en día, encontrar fuentes de energía renovable se ha vuelto cada vez más común, ya que se busca una alternativa más económica y amigable con el medio ambiente para el futuro. Las fuentes de energía tradicionales se están agotando y contaminan el planeta, por lo que se busca generar energías alternativas limpias y no convencionales. Debido al conflicto bélico entre Rusia y Ucrania, los costos de los combustibles fósiles han

aumentado, lo que ha elevado el precio de los servicios eléctricos. Esto obliga a buscar la generación de energías alternativas con mayor eficiencia para reducir costos. Por tal motivo se pretende realizar en la presente investigación un estudio comparativo entre las tecnologías de generación eléctrica de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo para determinar la relación de sus eficiencias energéticas.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Comparar la eficiencia energética de los sistemas de generación eléctrica, mediante las tecnologías de efecto inductivo y efecto piezoeléctrico.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar las características energéticas de las tecnologías piezoeléctrica
- Determinar las características energéticas de las tecnologías inductivas
- Realizar un análisis estadístico para determinar cuál es la de mayor rendimiento

## **1.3. Justificación del estudio**

**En lo social**, tener sistemas de generación de energía alternativa de alta eficiencia para el desarrollo y mejora de diversas tecnologías que tienen un impacto directo en la sociedad.

**En lo práctico**, es de gran relevancia tanto desde una perspectiva científica como tecnológica, dado su potencial impacto en diversas áreas de la industria y la tecnología avanzada.

## II. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1. Antecedentes del estudio

(Sotelo & Nieto, 2018) en su tesis “Análisis técnico y económico del potencial de generación eléctrica a través de dispositivos piezoeléctrico”, desarrollado en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. El objetivo general es analizar técnica y económicamente el potencial de generación eléctrica a través de dispositivos piezoeléctricos, para los accesos peatonales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, que permita suplir la demanda energética de alumbrado perimetral de la Facultad, aprovechando el número de estudiantes, docentes y visitantes que circulan diariamente a pie por las diferentes porterías. En la presente investigación, se pudo comprobar a través del análisis estadístico del flujo peatonal de estudiantes, docentes y visitantes que egresan por la portería de salida, que se tiene una Media de Flujo Peatonal de 8.969 salidas al día, lo que representaría un Flujo Peatonal de 1.793.840 durante el año académico, pudiéndose generalizar para la entrada, dado que los mismos peatones que egresaron por la portería de salida, ingresaron por la portería de entrada. Como resultado, el análisis del Flujo de Caja de la alternativa con baldosas Pavegen presenta un mejor comportamiento financiero en el periodo de tiempo analizado de los 20 años respecto a las baldosas Sustainable Energy Floor y Waynergy People, sin embargo; el periodo de recuperación de la alternativa Pavegen, momento en que se da el punto de equilibrio de ingresos y costos, se encuentra en el periodo del año 14, y a pesar de ofrecer un valor presente neto positivo, tendría una tasa interna de retorno menor a la tasa de oportunidad estipulada, una relación beneficio costo inferior a 1, y un periodo de recuperación mayor al tiempo de vida útil de las baldosas piezoeléctricas, obligando a realizar una reinversión para la sustitución de los dispositivos piezoeléctricos por vida útil que junto con el costo de la adecuación de la infraestructura de iluminación perimetral actual a LED, desbordan la proyección financiera de solución.

(Guacapiña & Huerta, 2019) en su tesis “Diseño e implementación de un sistema generador de energía eléctrica mediante el uso de dispositivos piezoeléctricos implementados en una máquina elíptica en el gimnasio "ZEUS" ubicado en la ciudad de

Machachi - Cantón Mejía”, desarrollado en la Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga. El objetivo general es la generación de energía eléctrica. Mediante la comparación en la forma de trabajo y rangos de generación entre el piezoeléctrico LDT0-028K y los tipo pastilla, se logró diseñar el sistema de generación con su correcta ubicación de los dispositivos piezoeléctricos en el prototipo, misma que es de 15mm entre cada uno entregando un estimado de 35V por deformación los cuales son ubicados en bancos de piezoeléctricos de 5 unidades, la conexión de estos dispositivos piezoeléctricos es alternada soldándose 1 piezoeléctrico creando una distancia de conexión de 30mm, con este dato se colocan los contactos a la misma distancia de 30mm para obtener una sincronización de deflexión. Luego de su implementación se pudo evaluar el sistema de generación, en el cual se tomaron mediciones que dando como resultado datos con respecto a la corriente es de 350.3 (mA) donde se logra generar 6130.25 (mW) en un tiempo de 15 minutos realizando un trabajo físico en el cual el usuario logra quemar 141 (Kcal) y 560.7 (mA) en 30 minutos tiende a producir 16428.51 (mW) con un esfuerzo físico reflejado en la quema de calorías de 363 (Kcal), con lo cual se concluye que su implementación es viable ya que por día al utilizar la máquina elíptica brinda una potencia de 600(W) y mediante la proyección de implementación a 10 máquinas elípticas refleja un impacto económico de 204.3 USD anuales.

(Gonzales & Marchena, 2020) en su tesis “Diseño, desarrollo y comercialización de una batería externa que transforma la energía mecánica en energía eléctrica a través del dínamo”, desarrollado por la Universidad San Ignacio de Loyola, Lima. El objetivo es alcanzar y ser partícipe del mercado local en un 4.9%, al quinto año del proyecto (2025). El presente proyecto de investigación propone crear, desarrollar y comercializar un producto innovador llamado EcoDínamo, que parte sobre la base de las ya existentes baterías externas que se ofrecen en el mercado peruano e internacional, agregando como elemento diferenciador al dínamo; que, a través del uso de una manivela en el dispositivo, permite abastecer y transformar la energía mecánica a energía eléctrica. Así mismo, favorece la cultura ambiental. Describe el estudio técnico del proyecto, detallando los requerimientos necesarios para la puesta en marcha; tales como, criterios

de ubicación, capacidades, equipamiento, herramientas, almacenamiento, abastecimiento, procesos, mano de obra, plano de distribución, etc. Desarrolla un meticuloso análisis de la gestión del proyecto, determinando la viabilidad y rentabilidad del mismo; a través, de los cálculos del costo de oportunidad, costo promedio ponderado de capital (WACC), medición de indicadores de rentabilidad, punto de equilibrio que permitirá reconocer la cantidad de unidades que la empresa necesita producir y comercializar, para no ganar ni perder; finalmente, la definición del análisis de sensibilidad y el perfil del riesgo del presente proyecto.

(Rojas, 2019) en su tesis “Análisis comparativo de generadores eléctricos usados en aerogeneradores para su aplicación con turbinas eólicas en zonas rurales del Perú”, desarrollado por la Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote. El propósito del presente trabajo fue realizar el análisis comparativo de generadores eléctricos usados en aerogeneradores según las características del viento y el nivel de potencia a generar, para concluir cuales producen mayor transferencia de energía con turbinas eólicas en zonas del rurales del Perú. Para cumplir este propósito se recurrió a libros especializados artículos científicos y documentos oficiales que usamos para obtener datos, así como la observación de campo de aerogeneradores en funcionamiento. Se ha podido determinar que los tipos de generadores que se utilizan en los aerogeneradores tienen como base los generadores de inducción y síncronos. El estudio comparativo ha revelado que el generador de inducción doblemente alimentado y el generador síncrono de imán permanente son los que compiten muy cercanamente para ser propuesto en los fines del presente estudio, las eficiencias de los mismas son muy cercanas, pero el costo del generador de imanes permanentes supera al de alimentación doble.

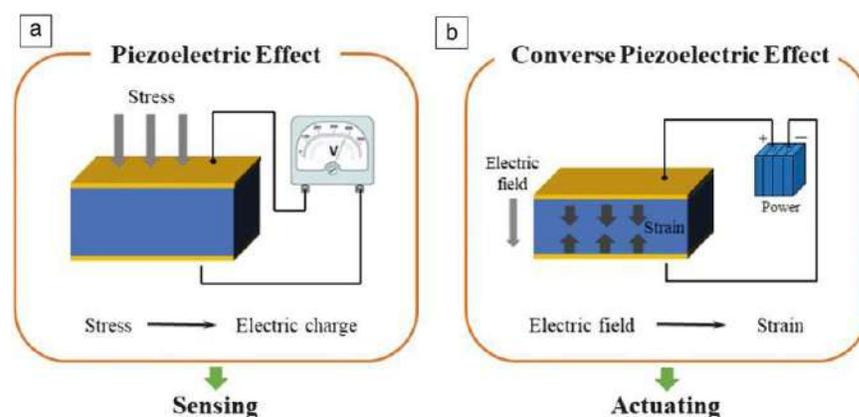
## 2.2. Marco teórico

### Definición de efecto piezoeléctrico

Propiedad que tienen ciertos materiales de generar una carga eléctrica en respuesta a la aplicación de una fuerza mecánica, o viceversa, de deformarse cuando se les aplica un campo eléctrico. Esto significa que estos materiales pueden convertir energía mecánica en energía eléctrica y viceversa. Este fenómeno es utilizado en diversas aplicaciones, como en transductores ultrasónicos, sensores de presión, encendedores de gas, etc. Barbero, E. (2004).

### Figura 1

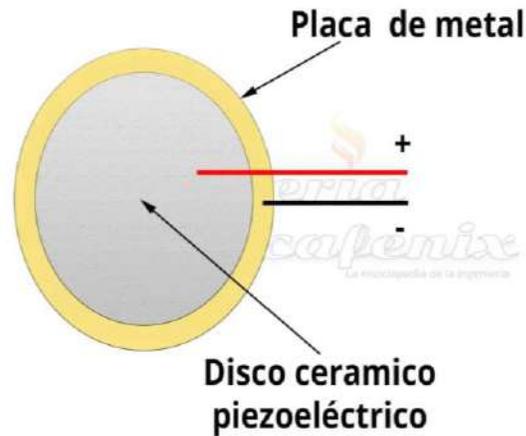
*Efecto piezoeléctrico*



### Disco piezoeléctrico

Es un dispositivo que utiliza el efecto piezoeléctrico para transformar energía eléctrica en energía mecánica y viceversa. Consiste en un disco delgado de material piezoeléctrico, como el cuarzo, que puede deformarse cuando se le aplica un campo eléctrico o generar un campo eléctrico cuando se le aplica presión mecánica. Estos discos se utilizan en una variedad de aplicaciones, como en transductores ultrasónicos, micrófonos, actuadores y generadores de energía. Mason, W. (1950).

**Figura 2**  
*Disco cerámico piezoeléctrico*



### Definición de efecto inductivo

Es un fenómeno en el cual un campo magnético que cambia en el tiempo induce la generación de una corriente eléctrica en un circuito eléctrico cercano. Este efecto se basa en la ley de Faraday de la inducción electromagnética y es fundamental en la operación de transformadores, inductores y generadores eléctricos. Serway, R. (2014).

**Figura 3**  
*Efecto inductivo*



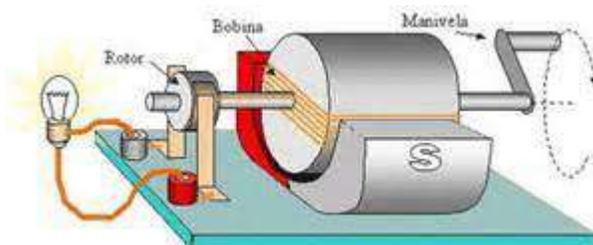
## Dínamo

Dispositivo electromecánico que convierte energía mecánica en energía eléctrica mediante la inducción electromagnética. Consiste en un rotor que gira dentro de un campo magnético, lo que genera una corriente eléctrica en un circuito conectado al dínamo. Los dínamos se utilizan comúnmente en aplicaciones donde se necesita generar electricidad, como en bicicletas para alimentar luces, o en generadores de emergencia.

Hawkins, N. (2013)

### Figura 4

*Funcionamiento de un Dínamo*



### 2.3. Marco conceptual

**Tecnología Inductiva:** La tecnología inductiva se basa en el principio del efecto inductivo, que establece que un campo magnético variable puede inducir una corriente eléctrica en un conductor cercano. En aplicaciones tecnológicas, la tecnología inductiva se utiliza para detectar la presencia o ausencia de objetos metálicos, medir la distancia, la velocidad o la posición, y para la transmisión de energía de forma inalámbrica. Ejemplos comunes de tecnología inductiva incluyen sensores de proximidad, sistemas de detección de metales, cargadores inalámbricos y sistemas de comunicación NFC (Near Field Communication).

**Tecnología Piezoeléctrica:** La tecnología piezoeléctrica se basa en el efecto piezoeléctrico, que es la capacidad de ciertos materiales de generar una carga eléctrica en respuesta a una fuerza mecánica aplicada. Esta tecnología se utiliza para diversas aplicaciones, como sensores de presión, micrófonos, generadores de energía a partir de vibraciones mecánicas, y sistemas de actuación en los que se requiere una respuesta precisa y rápida a una señal eléctrica. Ejemplos de aplicaciones piezoeléctricas incluyen dispositivos médicos, como ecógrafos y dispositivos de limpieza dental, así como en la industria automotriz, aeroespacial y de telecomunicaciones.

**Baldosa Piezoeléctrica:** Una baldosa piezoeléctrica es un tipo de baldosa que integra materiales piezoeléctricos en su estructura. Estos materiales tienen la capacidad de generar una carga eléctrica cuando se someten a una presión mecánica, como la fuerza ejercida al caminar sobre la baldosa. Esta carga eléctrica puede ser recolectada y utilizada como una forma de energía alternativa para alimentar dispositivos eléctricos de bajo consumo, como luces LED o sensores.

**Baldosa Inductiva:** Una baldosa inductiva es un tipo de baldosa que incorpora tecnología inductiva en su diseño. Estas baldosas utilizan el principio del efecto inductivo, donde un campo magnético variable puede inducir una corriente eléctrica en un circuito cercano. En el caso de las baldosas inductivas, se utilizan bobinas o circuitos inductivos integrados en la baldosa para detectar la presencia de objetos metálicos cercanos, como un vehículo en un estacionamiento. Este tipo de baldosas se utiliza comúnmente en sistemas de detección de vehículos en estacionamientos o en

aplicaciones de seguridad para alertar sobre la presencia de objetos no deseados en áreas restringidas.

**Inductancia:** La inductancia es una propiedad de un circuito eléctrico que surge del efecto inductivo. Se mide en henrios (H) y representa la capacidad de un circuito para almacenar energía en forma de campo magnético cuando una corriente eléctrica lo atraviesa.

**Coefficiente de Inducción:** El coeficiente de inducción es una medida de la capacidad de un material para inducir una corriente eléctrica en respuesta a un cambio en el campo magnético. Este coeficiente es importante en el diseño de transformadores y dispositivos electromagnéticos.

#### 2.4. Sistema de hipótesis

La tecnología de efecto piezoeléctrico es más eficiente que la tecnología de efecto inductivo.

#### 2.5. Variables. Operacionalización de variables

**Tabla 1**  
*Operacionalización de la variable independiente*

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Instrumento
Tecnología inductiva y piezoeléctrica	Se basa en el principio del efecto inductivo y efecto piezoeléctrico	Se refiere a la conversión de energía mecánica en energía eléctrica mediante el uso de principios de inducción	Diseño del circuito de adquisición	Reporte de diseño

---

electromagn

ética

---

**Tabla 2**  
*Operacionalización de la variable dependiente*

<b>Variable Independiente</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumento</b>
Eficiencia energética	Es la relación entre la cantidad de energía utilizada para realizar una determinada actividad y el resultado obtenido	Relación entre la cantidad de energía útil producida por un sistema y la cantidad de energía consumida para su operación	Potencia Energía	Reporte de operación

---

### III. METODOLOGÍA EMPLEADA

#### 3.1. Tipo y nivel de investigación

##### Tipo de investigación

Aplicada: A partir de conocimientos establecidos se dará solución a un problema planteado

##### Nivel de investigación

Explicativo

#### 3.2. Población y muestra del estudio

##### 3.2.1. Población

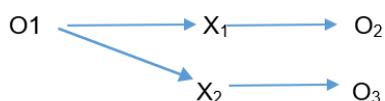
Es definida por Hernández y Mendoza (2018) como el conjunto de individuos, acciones, procesos u otras características que permiten representarlo en un conjunto que las cuales las asocian a una unidad de estudio. La población de estudio será la energía alternativa generada por las tecnologías inductivo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

##### 3.2.2. Muestra

La muestra de estudio serán las tecnologías inductivas y piezoeléctricas.

#### 3.3. Diseño de investigación

El diseño es no experimental.



##### Leyenda:

O1: Pesos entre 60kg y 80kg

X1: Tecnologías piezoeléctrica

X2: Tecnologías piezoeléctrica

O2: Energía piezoeléctrica

O3: Energía inductiva

### 3.4. Técnicas e instrumentos de la investigación

Procedimiento para el cumplimiento de objetivos

- a) Descripción del funcionamiento de la tecnología de efecto inductivo y efecto piezoeléctrico
- b) Selección de la tarjeta de interface para la captación de energía.
- c) Toma de datos de las tecnologías sometidas a diferentes masas.
- d) Análisis estadístico de las energías generadas por cada tecnología.

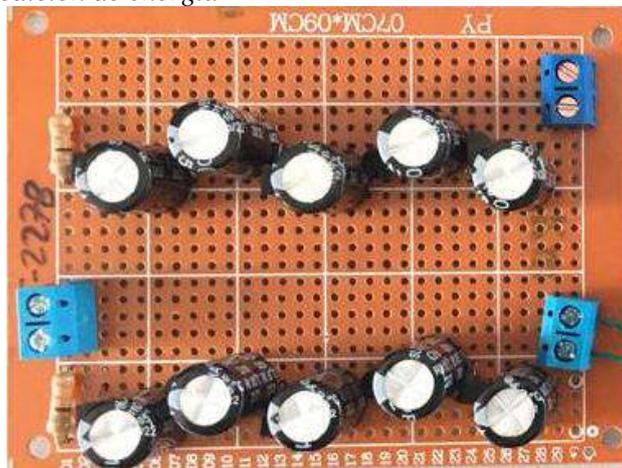
### 3.5. Procesamiento y análisis de datos

#### Desarrollo del sistema inductivo

En la siguiente figura se muestra la placa del circuito utilizado para la medición de energía generada por la baldosa al ser sometida a diferentes masas.

**Figura 5**

*Placa de prueba para medición de energía*



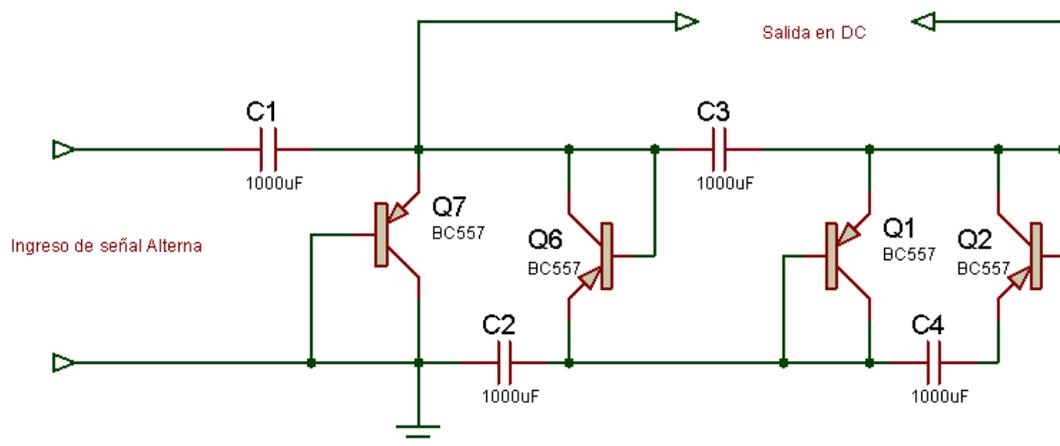
En la siguiente figura se muestra el modelo preliminar de la baldosa utilizado para medición de energía al caminar.

**Figura 6**  
*Modelo preliminar de la baldosa para medición de energía*



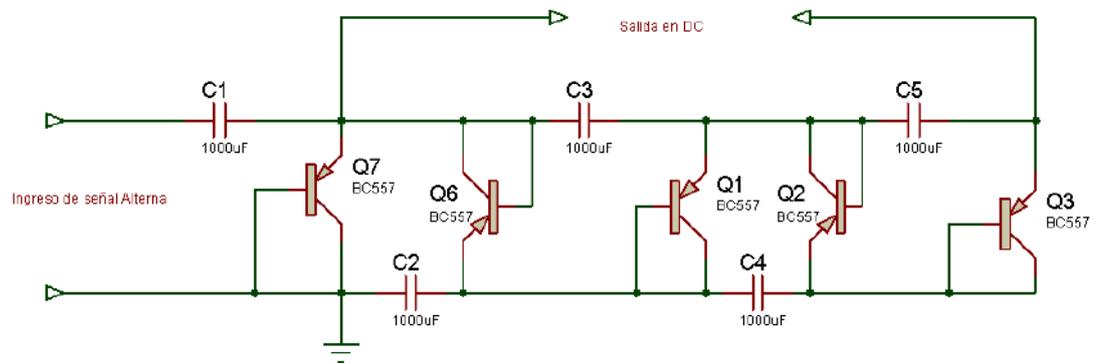
En la siguiente figura se muestra el diseño del circuito cuadruplicador de tensión utilizando transistores BJT, realizado en el software de simulación PROTEUS.

**Figura 7**  
*Diseño del circuito cuadruplicador de tensión*



En la siguiente figura se muestra el diseño del circuito quintuplicador de tensión utilizando transistor BJT.

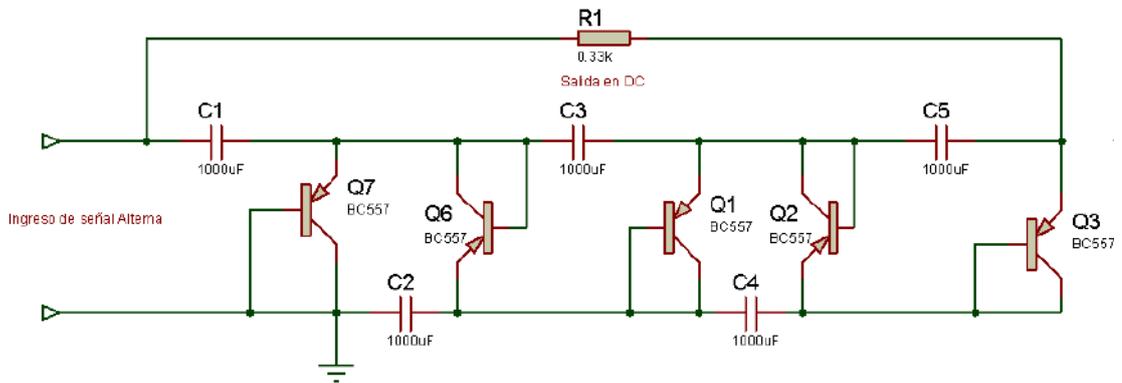
**Figura 8**  
*Diseño del circuito quintuplicador de tensión con BJT*



En la siguiente figura se muestra el diseño del circuito quintuplicador de tensión utilizando transistores BJT y resistencia de carga.

**Figura 9**

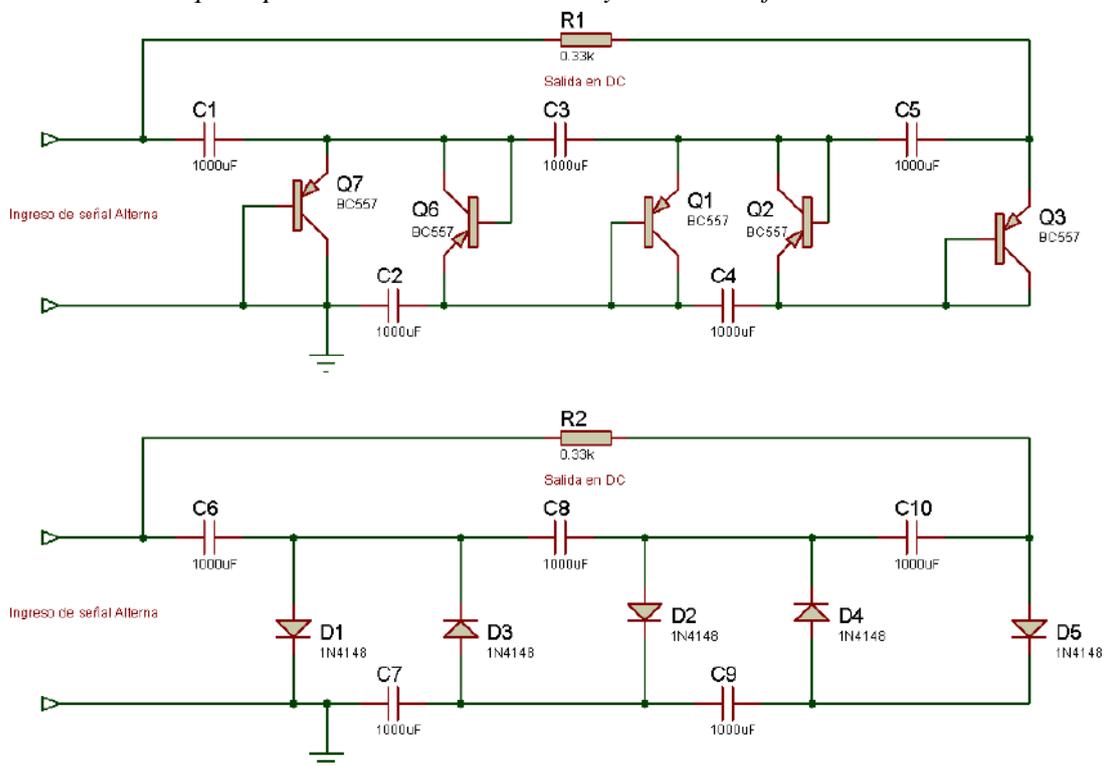
*Circuito quintuplicador de tensión con BJT y resistencia de carga*



En la siguiente figura se muestra el diseño del circuito quintuplicador de tensión utilizando transistores BJT y diodos rectificadores.

**Figura 10**

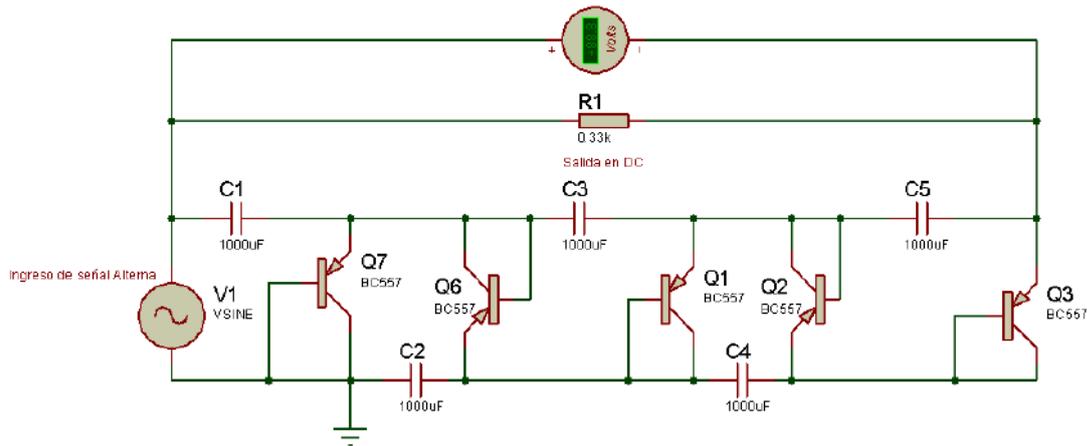
*Diseño del circuito quintuplicador de tensión con BJT y diodos rectificadores*



En la siguiente figura se muestra el circuito experimental, compuesto por transistores BJT. Para la simulación se utilizó el software PROTEUS y la toma de datos de forma se han considerado las siguientes masas: 73.2kg, 71.3kg, 70.5kg, 68.2kg, 67.2kg.

**Figura 11**

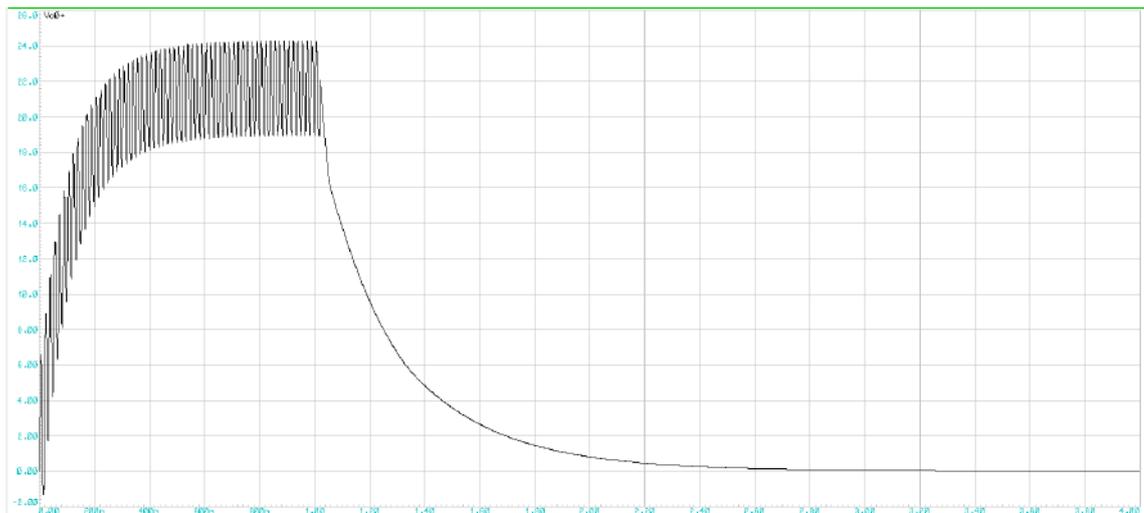
*Circuito propuesto para el ensayo*



En la siguiente figura se muestra la respuesta del sistema para una masa de 73.2kg y  $V_m=21.5V$ .

**Figura 12**

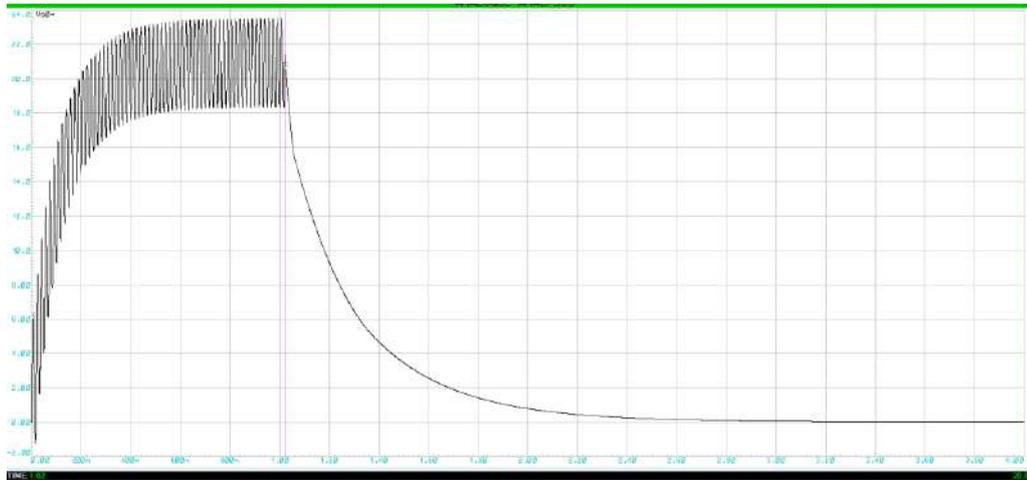
*Respuesta del sistema para  $m=73.2Kg$   $V_m=21.5V$*



En la siguiente figura se muestra la respuesta del sistema para una masa de 71.3kg y  $V_m=20.8V$ .

**Figura 13**

*Respuesta del sistema para  $m=71.3Kg$   $V_m=20.8V$*



En la siguiente figura se muestra la respuesta del sistema para una masa de 70.5kg y  $V_m=19.8V$ .

**Figura 14**

*Respuesta del sistema para  $m=70.5Kg$   $V_m=19.8V$*



En la siguiente figura se muestra la respuesta del sistema para una masa de 68.2kg y  $V_m=16.6V$ .

**Figura 15**

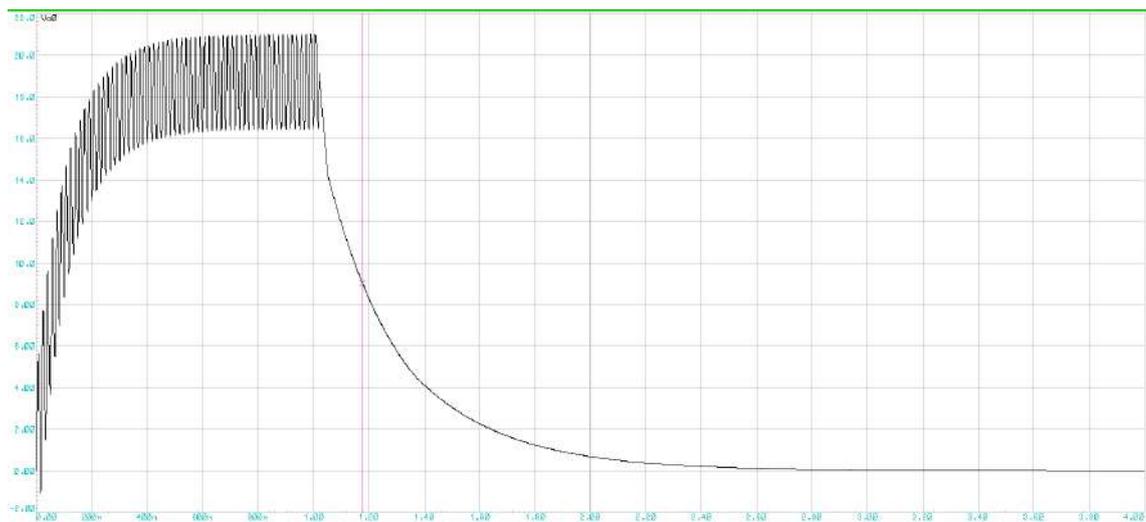
*Respuesta del sistema para  $m=68.2Kg$   $V_m=16.6V$*



En la siguiente figura se muestra la respuesta del sistema para una masa de 67.2kg y  $V_m=16.3V$ .

**Figura 16**

*Respuesta del sistema para  $m=67.2Kg$   $V_m=16.3V$*

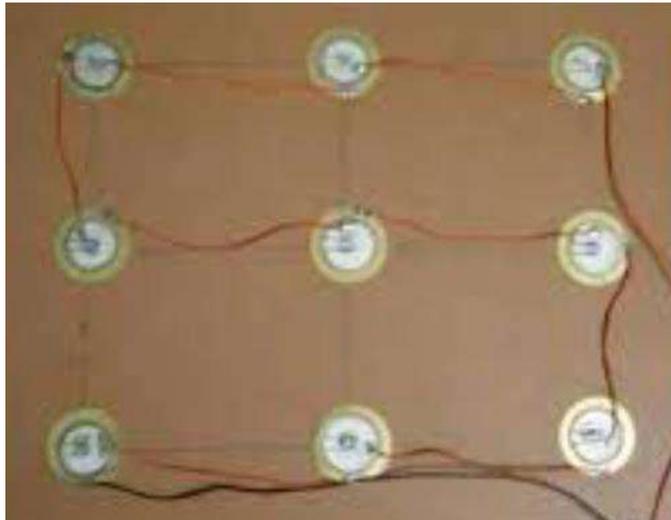


### Desarrollo del sistema piezoeléctrico

En la siguiente figura se muestra el prototipo de la baldosa piezoeléctrica, conformado por el material piezoeléctrico, electrodos y la capa protectora.

**Figura 17**

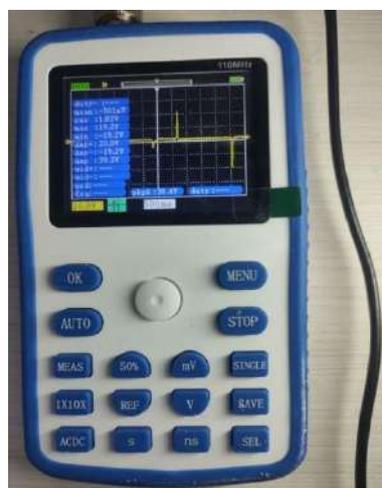
*Prototipo de la baldosa piezoeléctrica*



En la siguiente figura se muestra la generación de voltaje es de forma de impulsos, por lo que será necesario extraer su valor absoluto mediante la rectificación de onda completa.

**Figura 18**

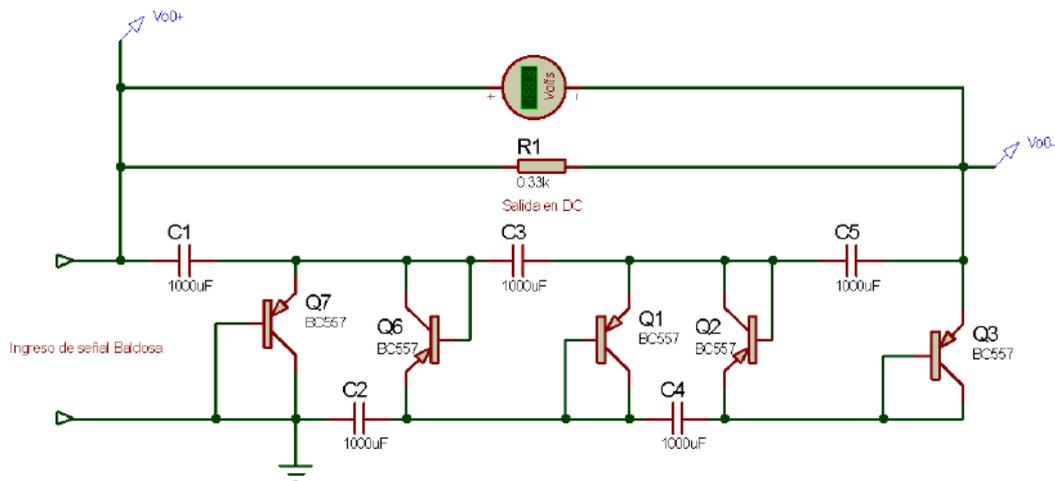
*Osciloscopio digital utilizado en la medición de tensiones*



La imagen siguiente presenta el circuito utilizado para extraer la tensión de una baldosa piezoeléctrica. Este circuito está compuesto por cinco transistores que actúan como multiplicadores de tensión, ya que la señal de entrada es de tipo alterna, cambiando de polaridad. Se prefieren los transistores sobre los diodos rectificadores debido a su mayor velocidad de respuesta.

**Figura 19**

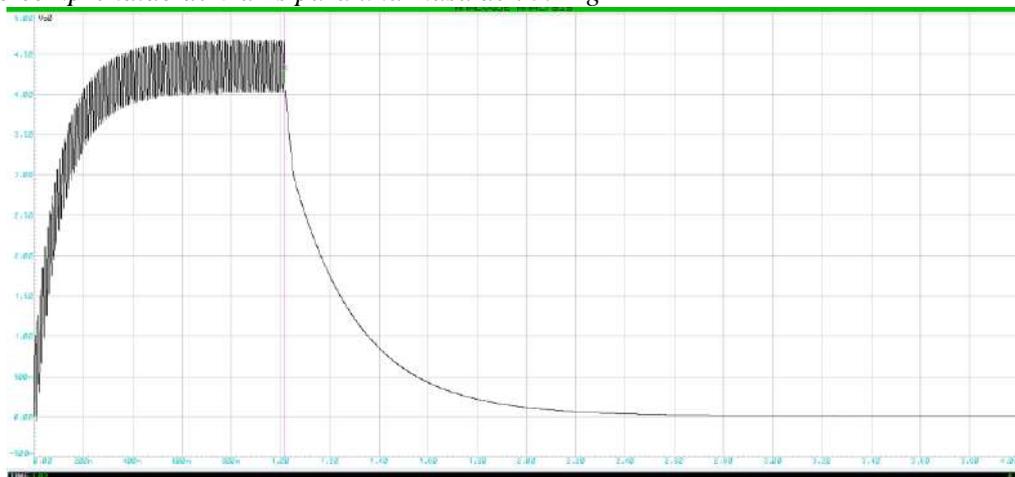
*Diseño del circuito extractor de tensión de la baldosa piezoeléctrica*



La figura siguiente ilustra cómo, entre 0 y 1 segundo, la baldosa genera energía que el circuito multiplicador almacena. Entre 1 y 4 segundos, esta energía se descarga en una carga de 330 ohmios. También se menciona que la amplitud generada por la baldosa es de 2.5 voltios para una masa de 73.2 kg.

**Figura 20**

*Tiempo comprendido de 0 a 1s para una masa de 73.2Kg*



La figura siguiente representa el proceso en el que, de 0 a 1 segundo, la baldosa genera energía que es almacenada por el circuito multiplicador. Luego, de 1 a 4 segundos, esta energía se descarga en una carga de 330 ohmios. También se especifica que la amplitud generada por la baldosa es de 2.3 voltios para una masa de 71.3 kg.

### Figura 21

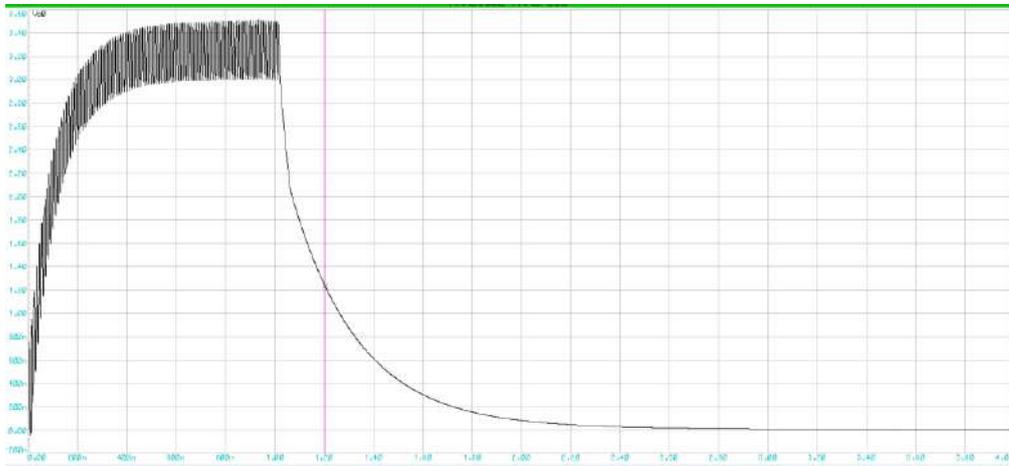
*Tiempo comprendido de 0 a 1s para una masa de 71.3Kg*



La figura siguiente ilustra cómo, entre 0 y 1 segundo, la baldosa genera energía que el circuito multiplicador almacena en los condensadores. Entre 1 y 4 segundos, esta energía se descarga en una carga de 330 ohmios. También se menciona que la amplitud generada por la baldosa es de 2 voltios para una masa de 70.5 kg.

**Figura 22**

Tiempo comprendido de 0 a 1s para una masa de 70.5Kg



### **Análisis de la energía generada por el efecto Inductivo**

#### **Respuesta del sistema para m=73.2kg Vm=21.5V**

Se obtiene que es el voltaje en función del tiempo y el valor de 22.2V es el valor del voltaje para un  $t = 1/5s$ .

$$f(t) = 22.2e^{-at}, f\left(\frac{1}{5}\right) = 9.72 = 20e^{-\frac{a}{5}}; a = 5\ln\left(\frac{22.2}{9.72}\right) = \ln\left(\frac{22.2}{9.72}\right)^5$$

$$f(t) = 22.2e^{-\ln\left(\frac{22.2}{9.72}\right)^5 t} = 20\left(\frac{22.2}{9.72}\right)^{-5t}$$

$$E = \int_0^{\frac{3}{2}} \frac{(22.2e^{-at})^2}{R} dt = \frac{(22.2)^2}{330} \int_0^{\frac{3}{2}} e^{-2at} dt = \mathbf{180,8mJ}$$

La energía para una masa de 73.2kg es 180.8mJ

#### **Respuesta del sistema para m=71.3Kg Vm=20.8V**

Se obtiene que es el voltaje en función del tiempo y el valor de 21.6V es el valor del voltaje para un  $t = 1/5s$ .

$$f(t) = 21.6e^{-at}, f\left(\frac{1}{5}\right) = 9.4 = 21.6e^{-\frac{a}{5}}; a = 5\ln\left(\frac{21.6}{9.4}\right) = \ln\left(\frac{21.6}{9.4}\right)^5$$

$$f(t) = 21.6e^{-\ln\left(\frac{21.6}{9.4}\right)^5 t} = 21.6\left(\frac{21.6}{9.4}\right)^{-5t}$$

$$E = \int_0^{\frac{3}{2}} \frac{(21.6e^{-at})^2}{R} dt = \frac{(21.6)^2}{330} \int_0^{\frac{3}{2}} e^{-2at} dt = \mathbf{169.9mJ}$$

La energía para una masa de 71.3kg es 169.9mJ

**Respuesta del sistema para m=70.5kg Vm=19.8V**

Se obtiene que es el voltaje en función del tiempo y el valor de 20.5V es el valor del voltaje para un  $t = 1/5s$ .

$$f(t) = 20.5e^{-at}, \quad f\left(\frac{1}{5}\right) = 8.94 = 20.5e^{-\frac{a}{5}}; \quad a = 5\text{Ln}\left(\frac{20.5}{8.94}\right) = \text{Ln}\left(\frac{20.5}{8.94}\right)^5$$

$$f(t) = 20.5e^{-\text{Ln}\left(\frac{20.5}{8.94}\right)^5 t} = 20.5\left(\frac{20.5}{8.94}\right)^{-5t}$$

$$E = \int_0^{\frac{3}{2}} \frac{(20.5e^{-at})^2}{R} dt = \frac{(20.5)^2}{330} \int_0^{\frac{3}{2}} e^{-2at} dt = \mathbf{153,4mJ}$$

La energía para una masa de 70.5kg es 153.4mJ

**Respuesta del sistema para m=68.2Kg Vm=16.6V**

se obtiene que es el voltaje en función del tiempo y el valor de 19.5V es el valor del voltaje para un  $t = 1/5s$ .

$$f(t) = 19.5e^{-at}, \quad f\left(\frac{1}{5}\right) = 6.35 = 19.5e^{-\frac{a}{5}}; \quad a = 5\text{Ln}\left(\frac{19.5}{8.54}\right) = \text{Ln}\left(\frac{19.5}{8.54}\right)^5$$

$$f(t) = 19.5e^{-\text{Ln}\left(\frac{19.5}{8.54}\right)^5 t} = 19.5\left(\frac{19.5}{8.54}\right)^{-5t}$$

$$E = \int_0^{\frac{3}{2}} \frac{(19.5e^{-at})^2}{R} dt = \frac{(19.5)^2}{330} \int_0^{\frac{3}{2}} e^{-2at} dt = \mathbf{139,5mJ}$$

La energía para una masa de 68.2kg es 139.5mJ

### Respuesta del sistema para $m=67.2\text{Kg}$ $V_m=16.3\text{V}$

Se obtiene que es el voltaje en función del tiempo y el valor de 19.1 voltios es el valor del voltaje para un  $t = 1/5\text{s}$ .

$$f(t) = 19.1e^{-at}, \quad f\left(\frac{1}{5}\right) = 8.29 = 19.1e^{-\frac{a}{5}}; \quad a = 5\text{Ln}\left(\frac{19.1}{8.29}\right) = \text{Ln}\left(\frac{19.1}{8.29}\right)^5$$

$$f(t) = 19.1e^{-\text{Ln}\left(\frac{19.1}{8.29}\right)^5 t} = 19.1\left(\frac{19.1}{8.29}\right)^{-5t}$$

$$E = \int_0^{\frac{3}{2}} \frac{(19.1e^{-at})^2}{R} dt = \frac{(19.1)^2}{330} \int_0^{\frac{3}{2}} e^{-2at} dt = 132.4\text{mJ}$$

La energía para una masa de de 67.2kg es 132.4mJ

### Cálculo de la energía generada por el efecto piezoeléctrico

La descarga de la energía almacenada para una masa de 73.2 kg ocurre en un intervalo de tiempo de 10 segundos, desde 1 hasta 11 segundos. La amplitud inicial de la descarga exponencial es de 4.43 voltios.

### Respuesta del sistema para $m=73.2\text{kg}$ , $A=4.43\text{V}$

$$f(t) = 4.43e^{-at}$$

$$f\left(\frac{1}{5}\right) = 1.73 = 4.43e^{-a}; \quad a = \text{Ln}\left(\frac{4.43}{1.73}\right)$$

$$f(t) = 4.43e^{-\text{Ln}\left(\frac{4.43}{1.73}\right)t} = 4.43\left(\frac{4.43}{1.73}\right)^{-t}$$

$$E = \int_0^{10} \frac{(4.43e^{-at})^2}{R} dt = \frac{(4.43)^2}{100k} \int_0^{10} e^{-2at} dt = 0.208\text{mJ}$$

**Figura 23**

*Duración de la descarga de la energía acumulada para una masa de 73.2kg*



La descarga de la energía almacenada para una masa de 71.3 kg ocurre en un intervalo de tiempo de 10 segundos, desde 1 hasta 11 segundos. La amplitud inicial de la descarga exponencial es de 3.9 voltios.

**Respuesta del sistema para  $m=71.3\text{kg}$  y  $A=3.9\text{V}$**

$$f(t) = 3.9e^{-at}$$

$$f\left(\frac{1}{5}\right) = 1.55 = 3.9e^{-a}; \quad a = \text{Ln}\left(\frac{3.9}{1.55}\right)$$

$$f(t) = 3.9e^{-\text{Ln}\left(\frac{3.9}{1.55}\right)t} = 3.9\left(\frac{3.9}{1.55}\right)^{-t}$$

$$E = \int_0^{10} \frac{(3.9e^{-at})^2}{R} dt = \frac{(3.9)^2}{10k} \int_0^{10} e^{-2at} dt = 0.1648\text{mJ}$$

**Figura 24**

*Duración de la descarga de la energía acumulada para una masa de 71.3kg*



La descarga de la energía almacenada para una masa de 70.5 kg ocurre en un intervalo de tiempo de 10 segundos, desde 1 hasta 11 segundos. La amplitud inicial de la descarga exponencial es de 3.2 voltios.

**Respuesta del sistema para  $m=70.5\text{kg}$ , y  $A=3.2\text{V}$**

$$f(t) = 3.2e^{-at}$$

$$f\left(\frac{1}{5}\right) = 1.25 = 3.2e^{-a}; \quad a = \text{Ln}\left(\frac{3.2}{1.25}\right)$$

$$f(t) = 3.2e^{-\text{Ln}\left(\frac{3.2}{1.25}\right)t} = 3.2\left(\frac{3.2}{1.25}\right)^{-t}$$

$$E = \int_0^{10} \frac{(3.2e^{-at})^2}{R} dt = \frac{(3.2)^2}{10k} \int_0^{10} e^{-2at} dt = 0.108\text{mJ}$$

**Figura 25**

*Duración de la descarga de la energía acumulada para una masa de 70.5kg*



#### IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Las características energéticas del efecto piezoeléctrico, presenta una forma exponencial.

La energía almacenada se descarga en un lapso de 10 segundos, de 1 a 11 segundos, para masas de 73.2 kg, 71.3 kg y 70.5 kg. La amplitud inicial de la descarga exponencial es de 4.43 V para 73.2 kg, 3.9 V para 71.3 kg y 3.2 V para 70.5 kg. En la tabla 3 se muestran las tensiones y energías eléctricas del sistema piezoeléctrico aplicado a diferentes masas.

**Tabla 3**

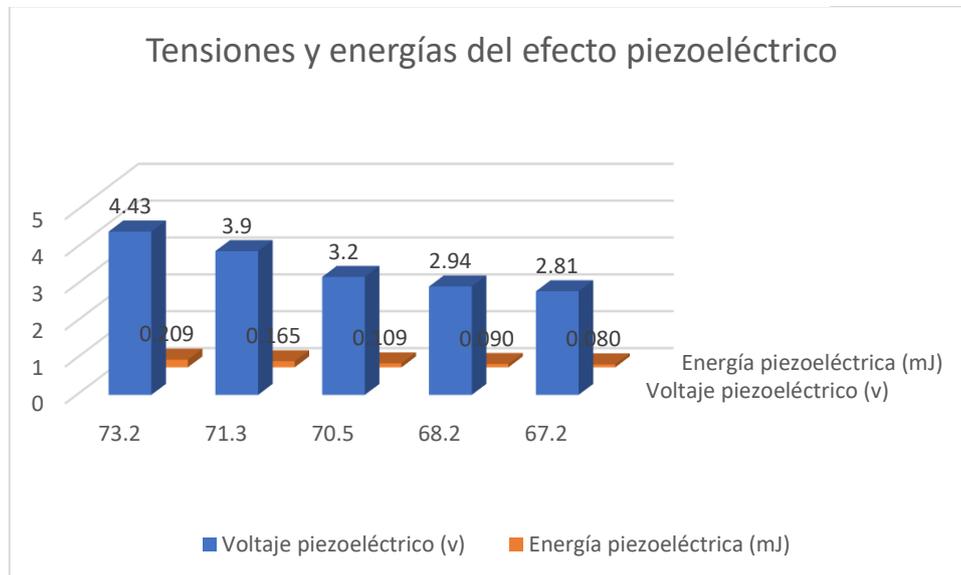
*Tensiones y energías eléctricas del sistema piezoeléctrico para diferentes masas*

Peso (kg)	73.2	71.3	70.5	68.2	67.2
Tensión piezoeléctrica (V)	4.43	3.9	3.2	2.94	2.81
Energía piezoeléctrica (mJ)	0.2087137	0.1648384	0.1089353	0.090396	0.080212

En la siguiente figura, se muestran las tensiones eléctricas y energías del efecto piezoeléctrico aplicado a diferentes masas.

**Figura 26**

*Tensiones y energías del efecto piezoeléctrico*



- Las características energéticas del efecto inductivo, presenta una forma exponencial. utilizando el software de simulación PROTEUS, se obtuvieron los siguientes resultados:

El sistema responde con una tensión inductiva de 22.2 V para una masa de 73.2 kg, 21.6 V para una masa de 71.3 kg, 20.5 V para una masa de 70.5 kg, 19.5 V para una masa de 68.2 kg y 19.1 V para una masa de 67.2 kg.

En la tabla 4 se muestran las tensiones y energías eléctricas del efecto inductivo sometido a diferentes masas.

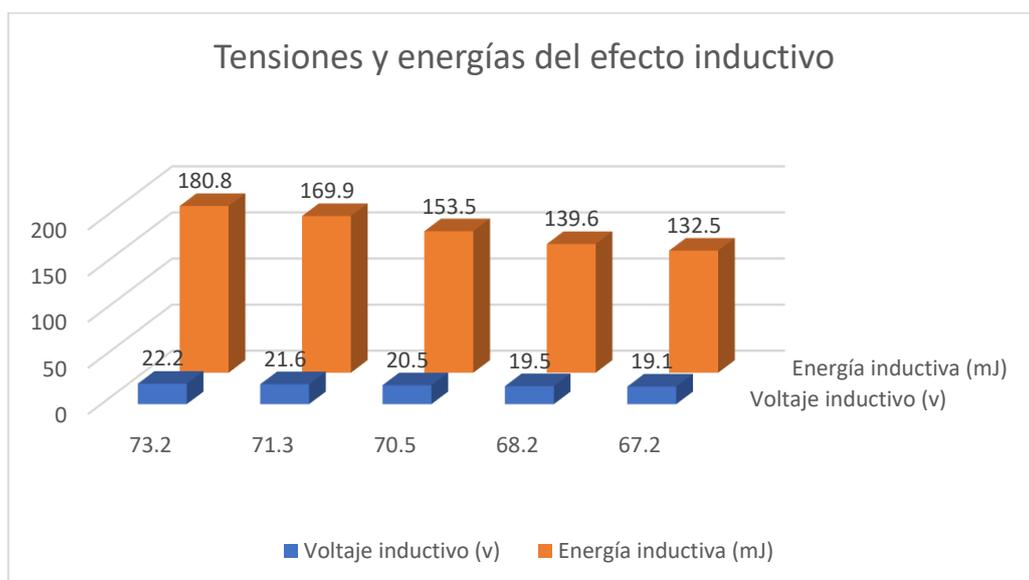
**Tabla 4**

*Tensiones y energías eléctricas del sistema inductivo para diferentes masas*

Peso (kg)	73.2	71.3	70.5	68.2	67.2
Tensión inductiva (V)	22.2	21.6	20.5	19.5	19.1
Energía inductiva (mJ)	180.8	169.9	153.5	139.6	132.5

**Figura 27**

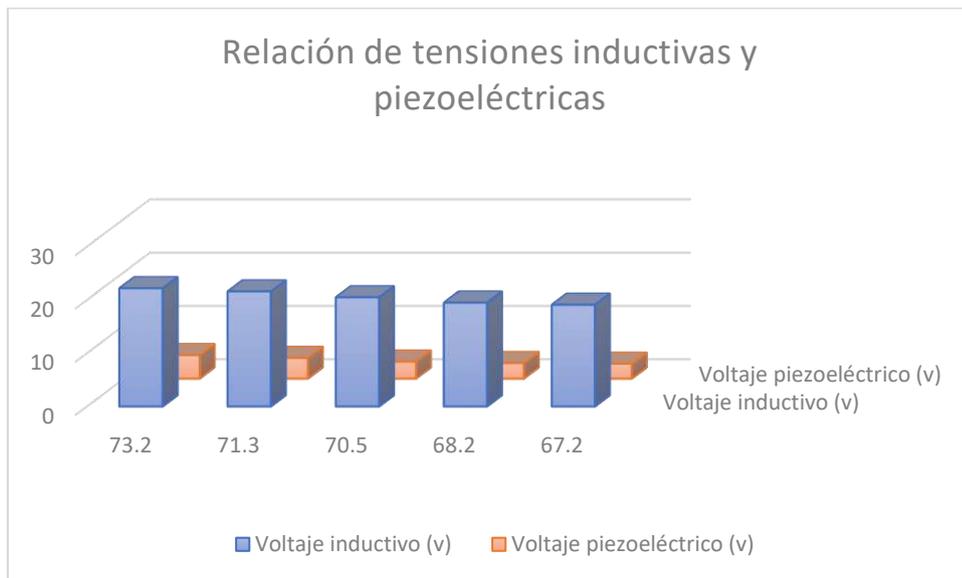
*Tensiones y energías del efecto inductivo*



- Mediante el análisis estadístico se pudo determinar cuál de los sistemas piezoeléctricos y/o inductivos es la de mayor rendimiento, teniendo en cuenta las masas aplicadas.

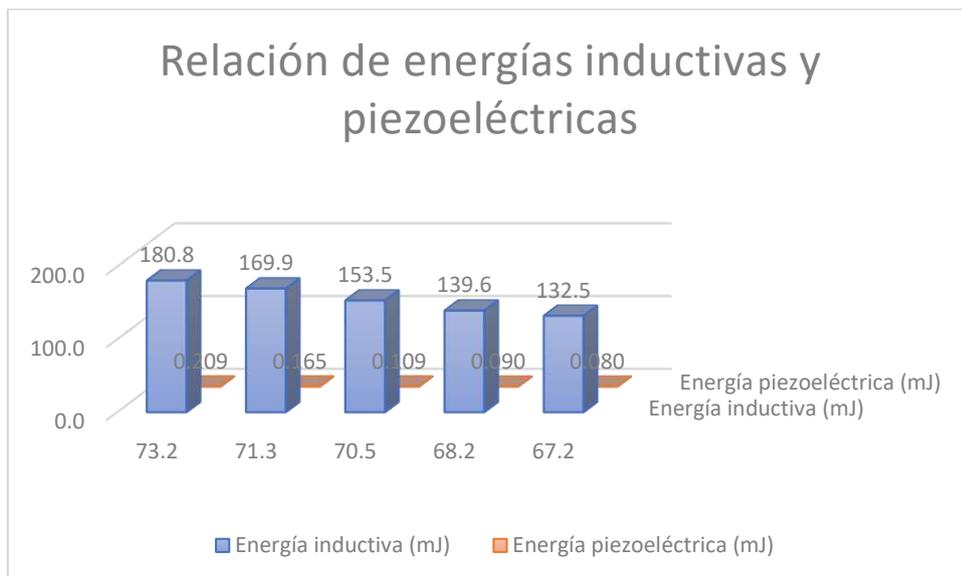
**Figura 28**

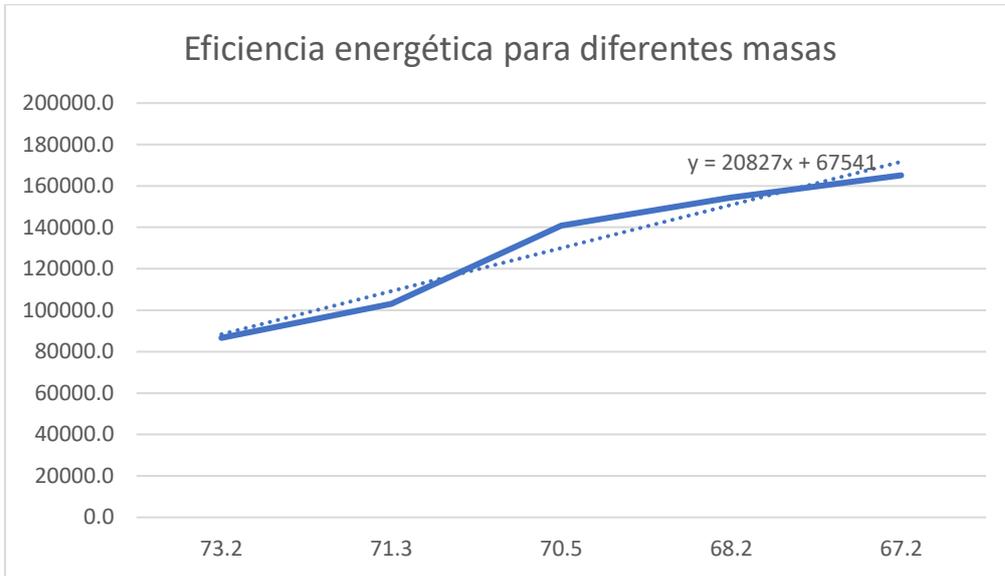
*Relación de tensiones inductivas y piezoeléctricas*



**Figura 29**

*Relación de energía inductiva y piezoeléctrica*



**Figura 30***Eficiencia energética para diferentes masas*

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La característica piezoeléctrica presenta una forma exponencial, con niveles de amplitud generados de 4.43 V para una masa de 73.2 kg y 2.81 V para una masa de 67.2 kg. Esto resulta en una energía máxima obtenida de 0.209 mJ.

**Tabla 5**  
*Parámetros eléctricos del sistema piezoeléctrico*

<b>Masa (kg)</b>	<b>73.2</b>	<b>71.3</b>	<b>70.5</b>	<b>68.2</b>	<b>67.2</b>
<i>Tensión piezoeléctrica (V)</i>	4.43	3.9	3.2	2.94	2.81
<i>Energía piezoeléctrica (mJ)</i>	0.209	0.165	0.109	0.09	0.080
<i>Pivp con respecto a masa más baja</i>	57.65	38.79	13.88	4.63	57.65
<i>Piep con respecto a masa más baja</i>	160.2	105.5	35.8	12.7	0

La característica inductiva presenta una forma exponencial, con niveles de amplitud generados de 22.2 V para una masa de 73.2 kg y 19.1 V para una masa de 67.2 kg. Esto resulta en una energía máxima obtenida de 180.8 mJ.

**Tabla 6**  
*Parámetros eléctricos del sistema inductivo*

<b>Masa (kg)</b>	<b>73.2</b>	<b>71.3</b>	<b>70.5</b>	<b>68.2</b>	<b>67.2</b>
<i>Tensión inductivo (v)</i>	22.2	21.6	20.5	19.5	19.1
<i>Energía inductiva (mJ)</i>	180.8	169.9	153.5	139.6	132.5
<i>Pivi con respecto a masa más baja</i>	16.23	13.09	7.33	2.09	0.00
<i>Piei con respecto a masa más baja</i>	36.52	28.30	15.86	5.37	0.00

La eficiencia energética del efecto inductivo con respecto al efecto piezoeléctrico es mayor, independientemente de la masa, teniendo como resultado 165123.7 para una masa de 67.2kg.

**Tabla 7**

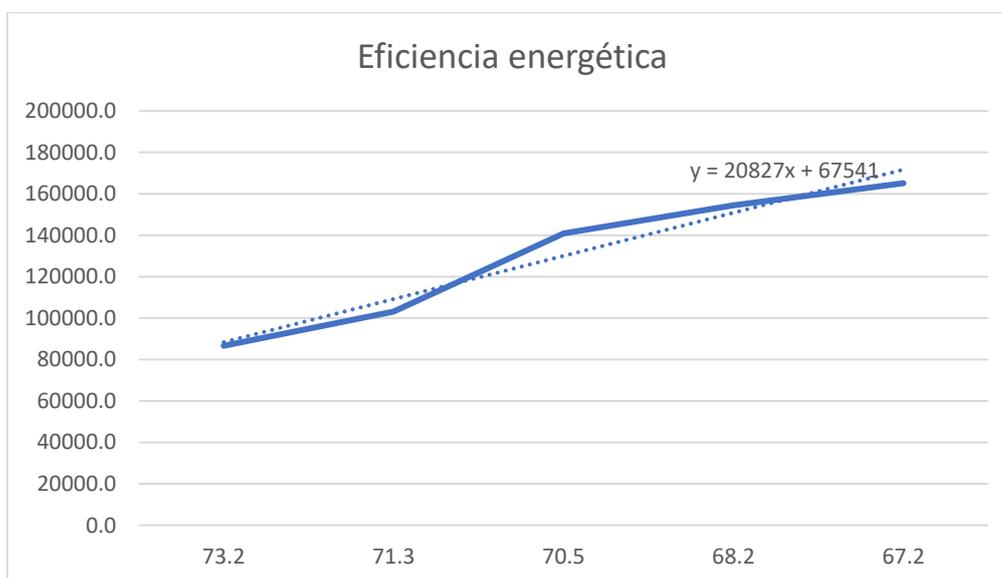
*Eficiencia energética del sistema inductivo con respecto sistema piezoeléctrico*

<b>Masa (kg)</b>	<b>73.2</b>	<b>71.3</b>	<b>70.5</b>	<b>68.2</b>	<b>67.2</b>
Tensión inductiva (V)	22.2	21.6	20.5	19.5	19.1
Energía inductiva (mJ)	180.8	169.9	153.5	139.6	132.5
Tensión piezoeléctrico (V)	4.43	3.9	3.2	2.94	2.81
Energía piezoeléctrica (mJ)	0.209	0.165	0.109	0.090	0.080
Pivi con respecto al menor peso	16.23	13.09	7.33	2.09	0.00
Piei con respecto al menor peso	36.52	28.30	15.86	5.37	0.00
Pivp con respecto al menor peso	57.65	38.79	13.88	4.63	0
Piep con respecto al menor peso	160.2	105.5	35.8	12.7	0
Eficiencia energética	86637.9	103090.5	140865.0	154385.3	165123.7

Se nota que la eficiencia energética generada por el efecto inductivo en comparación con el efecto piezoeléctrico es constante y está por debajo de 86637.9 para masas mayores a 73.2 kg. De esto se deduce que la tecnología inductiva produce más energía en comparación con la tecnología piezoeléctrica.

**Figura 31**

*Eficiencia energética*



Aplicando la prueba t de Student, el valor de t es mucho mayor que el t crítico, lo que indica una gran diferencia entre la energía inductiva y energía piezoeléctrica.

**Tabla 8**  
*Prueba t de Student*

<i>Peso(Kg)</i>	<i>Energía(mJ)</i>	
	<i>Inductiva</i>	<i>Piezo Elec</i>
73.2	180.8	0.209
71.3	169.9	0.165
70.5	153.5	0.109
68.2	139.6	0.090
67.2	132.5	0.08
	155.2	0.1306
<i>SD</i>	50.5000198	0.13820437
<i>p</i>	0.019748048	
	0.026346712	
<i>t</i>	2.767200501	
<i>%</i>	0.49	

## CONCLUSIONES

- Se logró determinar la característica energética de la tecnología de efecto piezoeléctrico, con niveles de amplitud generada de 4.43V para una masa de 73.2kg y una tensión de 2.81V para una masa de 67.2kg. Obteniéndose una energía máxima de 209mJ.
- Se logró determinar la característica energética de la tecnología de efecto inductivo, con niveles de amplitud generada de 22.2V para una masa de 73.2kg y una tensión de 19.1V para un peso de 67.2kg. Obteniéndose una energía máxima de 180mJ.
- Se determinó el rendimiento de las tecnologías de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo mediante la prueba T de Student,
- Se realizó un análisis estadístico para determinar cuál de las dos tecnologías tiene un mejor eficiencia, llegando a la conclusión que la mejor tecnología es la inductiva.

## RECOMENDACIONES

- Optimizar el circuito de extracción y almacenamiento de energía para maximizar la eficiencia y la cantidad de energía capturada.
- Realizar pruebas experimentales para comparar el rendimiento y la eficiencia de los sistemas basados en el efecto inductivo y piezoeléctrico.

## 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](http://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., Laguardo, 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\\_FMA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/57194/Manayay_FMA-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](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](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\\_uAhWKTjABHarqDh0Q6AEwAnoECAYQA#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=KzSjDwAAQBAJ&pg=PA162&dq=investigaci%C3%B3n+cuantitativa+hernandez&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwik4rn-IO_uAhWKTjABHarqDh0Q6AEwAnoECAYQA#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%c3%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/>

## ANEXOS

### Anexo 1: Masas utilizadas para la investigación



