



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Industrial, Sistemas e Informática

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

**Estudio para determinar la eficiencia de las tecnologías de la
generación de energía mediante el efecto piezoeléctrico y efecto
inductivo**

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

Autor

Michael Erick Hidalgo Ticlo

Asesor

Ms. Ing. Oscar Miguel De La Cruz Rodríguez

Huacho – Perú

2023

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE EL EFECTO PIEZOELÉCTRICO Y EFECTO INDUCTIVO

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	8%
2	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	4%
3	repositorio.uct.edu.pe Fuente de Internet	3%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	www.metrocuadrado.com Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1%
7	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1%

**ESTUDIO PARA DETERMINAR LA
EFICIENCIA DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE EL
EFECTO PIEZOELÉCTRICO Y EFECTO
INDUCTIVO**

DEDICATORIA

A dios, por haberme permitido culminar esta etapa profesional, a mis padres y a mi familia que estuvieron en todo momento apoyándome y brindándome sus consejos los cuales me permitieron ser una persona perseverante y decidido a llegar muy alto.

A los grandes amigos Carlos y Steven, por el apoyo y el aprecio por formar parte de mi etapa universitaria durante esos 5 años y que la amistad perdure siempre con el tiempo.

A mi enamorada Talia, por estar presente en todo momento brindándome su apoyo incondicional.

Tabla de Contenido

CARÁTULA	iii
DEDICATORIA.....	iii
TABLA DE FIGURAS	vi
TABLA DE TABLAS	ix
RESUMEN	x
CAPÍTULO I: PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos.....	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	2
1.4. Justificación de la investigación	3
1.5. Delimitación del estudio	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes de la investigación.....	4
2.2. Bases teóricas.....	8
2.3. Definición de términos básicos.....	12
2.4. Hipótesis de investigación	13

2.5. Operacionalización de las variables.....	14
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	15
3.1. Diseño metodológico	15
Tipo de investigación	15
Nivel de investigación	15
Diseño:.....	15
3.2. Población y muestra.....	16
3.3. Técnicas de recolección de datos.....	16
3.4. Técnicas para el procesamiento de la información.....	17
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	34
4.1. Análisis de los resultados.....	34
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	52
5.1. Discusión de resultados	52
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
6.1. Conclusiones.....	56
6.2. Recomendaciones	56
CAPÍTULO VII: REFERENCIAS	57
7.1. Fuentes bibliográficas	57
ANEXOS	1

TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Efecto piezoeléctrico	8
Figura 2: Generación de electricidad mediante tecnología piezoeléctrica	9
Figura 3: Comportamiento cuasi estático.....	9
Figura 4: Comportamiento bajo carga dinámica	10
Figura 5: Baldosas piezoeléctricas	10
Figura 6: Controlador PWM	11
Figura 7: Inversor CC/CA.....	11
Figura 8: Batería.....	12
Figura 9: <i>PCB de circuito de medición de energía</i>	17
Figura 10: Prototipo de la baldosa para medición de energía	18
Figura 11: Prototipo e implementación de baldosa para medición de energía.....	18
Figura 12: Circuito experimental para toma de datos	19
Figura 13: Circuito de prueba quintuplicador de tensión con diodo rectificador.....	19
Figura 14: Circuito de prueba - quintuplicador de tensión con transistor BJT	20
Figura 15: Circuito de prueba - quintuplicador de tensión con transistor BJT	20
Figura 16: Circuito quintuplicador de tensión con transistor BJT y diodo rectificador.....	21
Figura 17: Circuito de prueba final	21
Figura 18: Circuito de prueba para una masa de 86kg.....	22
Figura 19: Circuito de prueba para una masa de 24kg.....	22
Figura 20: Respuesta del sistema para una estimulación continua	23

Figura 21: Respuesta del sistema para una masa de 86kg $V_m=17.2v$	23
Figura 22: Simulación en osciloscopio para una masa de 86kg.....	24
Figura 23: Respuesta del sistema para una masa de 73Kg $V_m=14.1v$	24
Figura 24: Simulación en osciloscopio para una masa de 73kg.....	25
Figura 25: Respuesta del sistema para una masa de 71Kg $V_m=10.8v$	25
Figura 26: Simulación en osciloscopio para una masa de 71kg.....	26
Figura 27: Respuesta del sistema para una masa de 35Kg $V_m=7.5v$	26
Figura 28: Simulación en osciloscopio para una masa de 35kg.....	27
Figura 29: Respuesta del sistema para una masa de 24Kg $V_m=4.28v$	27
Figura 30: Simulación en osciloscopio para una masa de 24kg.....	28
Figura 31: Prototipo del sistema piezoeléctrico	29
Figura 32 : Baldosa piezoeléctrica de 40cmx40cm.....	29
Figura 33: Osciloscopio empleado en la medición de voltajes	30
Figura 34: Circuito extractor de tensión de la baldosa piezoeléctrica.....	31
Figura 35 : Tiempo comprendido desde 0 hasta 1s para 71Kg	32
Figura 36: Tiempo comprendido desde 0 hasta 1s para 73Kg	32
Figura 37: Tiempo comprendido desde 0 hasta 1s para 86Kg	33
Figura 38: Tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 71kg	38
Figura 39: Tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 73kg	39
Figura 40: Tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 86kg	40
Figura 41: Tiempo de descarga de la energía para un peso de 71kg.....	40
Figura 42: Tiempo de descarga de la energía para un peso de 73kg.....	41
Figura 43: Tiempo de descarga de la energía para un peso de 86kg.....	42
Figura 44: Voltaje y energía de la baldosa piezoeléctrica para diferentes masas.	43
Figura 45: Respuesta del sistema de la baldosa piezoeléctrica	43

Figura 46: Respuesta del sistema para una masa de 86kg $V_m=17.2v$	44
Figura 47: Simulación en osciloscopio para una masa de 86kg.....	44
Figura 48: Respuesta del sistema para una masa de 73Kg $V_m=14.1v$	45
Figura 49: Simulación en osciloscopio para una masa de 73kg.....	45
Figura 50: Respuesta del sistema para una masa de 71kg $V_m=10.8v$	46
Figura 51: Simulación en osciloscopio para una masa de 71kg.....	46
Figura 52: Respuesta del sistema para una masa de 35Kg $V_m=7.5v$	47
Figura 53: Simulación en osciloscopio para una masa de 35kg.....	47
Figura 54: Respuesta del sistema para una masa de 24Kg $V_m=4.28v$	48
Figura 55: Simulación en osciloscopio para una masa de 24kg.....	48
Figura 56: Voltaje y energía de la baldosa inductiva para diferentes masas.....	49
Figura 57: Relación de voltajes inductivo y piezoeléctrico	50
Figura 58: Relación de energía inductiva y piezoeléctrica	51
Figura 59: Rendimiento energético	51
Figura 60: Tiempo comprendido desde 0 hasta 1s para 86Kg	52
Figura 61: Respuesta del sistema para una masa de 86Kg $V_m=17.2v$	54
Figura 62: Rendimiento energético.....	55

TABLA DE TABLAS

Tabla 1: Variable independiente	14
Tabla 2: Variable dependiente	14
Tabla 3: Voltaje y energía de la baldosa piezoeléctrica	42
Tabla 4: Voltaje y energía de la baldosa inductiva	49
Tabla 5: Voltaje y energía piezoeléctrica para cada masa	52
Tabla 6: Voltaje y energía inductiva para cada masa.....	53
Tabla 7: Rendimiento energético	54

RESUMEN

El presente informe de investigación tuvo como objetivo determinar la eficiencia energética de las tecnologías de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo, la energía eléctrica de un sistema electromecánico formado por una baldosa y generador eléctrico tipo dínamo para convertir energía potencial que se genera al caminar en energía eléctrica, esto se dio por medio del efecto piezoeléctrico el cual tiene la función de convertir la energía mecánica de un objeto con masa en energía eléctrica renovable. El tipo de investigación fue aplicada y de nivel explicativo, debido a que trato de explicar las causas en distintas etapas del estudio, originando secuencias de causa y efecto, y el diseño de la investigación fue experimental. En los resultados podemos observar que se logró diseñar una baldosa piezoeléctrica a partir de la evaluación de los parámetros de masa de 86kg, 73kg, 71kg, 35kg, 24kg. Así mismo se halló la energía mecánica para el efecto inductivo y se obtuvo (128mJ, 91mJ, 54mJ, 26mJ, 6.9mJ), la energía mecánica para el efecto piezo eléctrico y se obtuvo (298mJ, 149mJ, 31mJ, 132mJ, 3.7mJ), y por último se observa que la eficiencia energética de la parte inductiva con respecto a la capacitiva será constante y menor a 50000 para pesos mayores 86kg.

Palabras Clave: Efecto inductivo, baldosa piezoeléctrica, efecto piezoeléctrico.

ABSTRACT

The objective of this research report was to determine the energy efficiency of the piezoelectric effect and inductive effect technologies, the electrical energy of an electromechanical system formed by a tile and a dynamo-type electrical generator to convert potential energy that is generated when walking into electrical energy. , this occurred through the piezoelectric effect which has the function of converting the mechanical energy of an object with mass into renewable electrical energy. The type of research was applied and at an explanatory level, because I try to explain the causes in different stages of the study, originating cause-and-effect sequences, and the research design was experimental. In the results we can see that it was possible to design a piezoelectric tile from the evaluation of the mass parameters of 86kg, 73kg, 71kg, 35kg, 24kg. Likewise, the mechanical energy for the inductive effect was found and was obtained (128mJ, 91mJ, 54mJ, 26mJ, 6.9mJ), the mechanical energy for the piezoelectric effect was obtained and was obtained (298mJ, 149mJ, 31mJ, 132mJ, 3.7mJ) , and finally it is observed that the energy efficiency of the inductive part with respect to the capacitive part will be constant and less than 50000 for weights greater than 86kg.

Keywords: Inductive effect, piezoelectric tile, effect piezoelectric.

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Un informe de "Renewable Energy Statistics 2020" muestra que el 72% de la expansión energética con respecto al año anterior es un aumento en la capacidad de producción de energía renovable, lo que la convierte en la fuente de energía de más rápido crecimiento en comparación con los combustibles fósiles. (ONU, 2020).

A nivel internacional, se han desarrollado muchos proyectos energéticos, incluida la implementación de tecnología piezoeléctrica en la carretera como fuente de energía, y la diferencia de potencia generada por el peso de los vehículos y el tráfico se almacena en paquetes de baterías. Alumbrado público. (Lesmes et al., 2020).

En el Perú existen trabajos de investigación sobre la realización de sistemas piezoeléctricos, los cuales se utilizan en los volumímetros ultrasónicos de gas, los cuales realizan trabajos eléctricos en la maquinaria durante la operación. El contador tiene la función de custodia del gas natural durante su transmisión. (Osinerming, 2014).

En la actualidad la forma de encontrar energía renovable es cada vez más común ya que busca ser una alternativa para el futuro siendo más económico y amigable con el planeta tierra. La energía tradicional se está agotando y contaminando el planeta, por lo que se busca generar energías alternativas limpias no tradicionales. Que debido al actual conflicto bélico entre rusia y ucrania se ha incrementado los costos de los combustibles fósiles, causando el incrementando el costo de los servicios eléctricos, esto obliga a buscar generación de energías alternativas para disminuir costos.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo el análisis comparativo de consumo de energía permitirá determinar la eficiencia energética de las tecnologías de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo el estudio de consumo energético permitirá determinar la característica energética de la tecnología de efecto piezoeléctrico?
- ¿Cómo el estudio de consumo energético permitirá determinar la característica energética de la tecnología de efecto inductivo?
- ¿Cómo el método estadístico permite determinar la eficiencia de las tecnologías de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia energética de las tecnologías de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo, mediante el análisis comparativo de consumo de energía

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la característica energética de la tecnología de efecto piezoeléctrico, mediante el estudio de consumo energético.
- Determinar la característica energética de la tecnología de efecto inductivo, mediante el estudio de consumo energético.
- Determinar la eficiencia de las tecnologías de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo, mediante el método estadístico.

1.4. Justificación de la investigación

En lo académico, permitirá seleccionar la tecnología de generación de energía alternativa más adecuada.

En lo tecnológico, permitirá desarrollar una tabla comparativa entre las tecnologías piezoeléctrica y efecto inductivo.

1.5. Delimitación del estudio

El presente trabajo de investigación se delimita a estudiar las tecnologías piezoeléctricas y efecto inductivo, que permita determinar cuál de las dos tecnologías es la más eficiente.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Investigaciones internacionales

Los autores Arévalo y Lamprea (2019) en su tesis de investigación “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 de investigación “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 consto 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 trabajo de investigación “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 titulada “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. Este proyecto nos ayudara al momento de escoger los accesorios y focos de iluminación para la realización de nuestra investigación.

2.1.2. Investigaciones nacionales

(Nuñez, 2018), en su tesis titulada: “Aprovechamiento de la tecnología piezoeléctrica para la generación de energía eléctrica en la pista de baile de la discoteca la cayet – distrito de soritor – Departamento de San Martin”, se propuso la implementación de la tecnología piezoeléctrica como una alternativa energética para la pista de baile de la discoteca la CAYET, para generar energía eléctrica a partir de la fuerza ejercida en cada pisada de las personas que acuden a este local bailable, para iluminar sus ambientes. Conociendo, que se trabajará en un área de 15 m² en la pista de baile de la discoteca LA CAYET donde permanecen en promedio 75 personas de 65 kg aproximadamente, liberan 4806,76 Joule de energía mecánica, lo que será aprovechado por los generadores piezoeléctricos.

Debido a que la demanda energética de la discoteca LA CAYET va en crecimiento motivado por la preocupación de brindar un mejor servicio. El principal aporte al trabajo de investigación es la implementación de esta energía renovable la cual además de contribuir a la reducción del calentamiento global por consumo de energía convencional, reducirá los montos de la factura mensual por consumo energético de la red eléctrica existente.

(Peña & Nieto, 2016), en su tesis titulada: “Diseño de un sistema de conversión de energía mecánica a eléctrica a partir de dos máquinas de gimnasio (Elíptica y bicicleta estática)”, se propuso estudiar las bicicletas estáticas y elípticas la cual indica que son un medio eficaz para la generación de energía eléctrica, por medio de su movimiento de manivela con el cual se desarrolla el ejercicio en cada máquina. La investigación llegó al siguiente resultado, la conversión de energía mecánica a eléctrica utilizando su

mecanismo puede producir de 300 a 400 Watts como máxima potencia. El principal aporte al trabajo de investigación es el aprovechamiento de energía mecánica obtenida de los seres humanos lo cual produce energía eléctrica por lo tanto nos dio a entender que es una alternativa muy efectiva.

(Saavedra, 2019) en su tesis titulada: “Diseño e implementación de un sistema para mejorar la autonomía en un scooter eléctrico en base a energía electromagnética”, se propuso implementar un sistema para mejorar la autonomía en un scooter eléctrico en base a energía electromagnética. La investigación llegó al siguiente resultado, la instalación del sistema diseñado permitió obtener una mejora significativa en la autonomía del scooter eléctrico, con un mínimo de 23.81% y un máximo de 42.42% lo cual representa distancias de 5 Km y 14 Km adicionales respectivamente logrando mejorar la distancia recorrida. El principal aporte al trabajo de investigación es el diseño e instalación a base de cuatro dinamos, que se utilizara para la distribución de nuestros generadores.

(Gordillo & Jaramillo, 2014), en su artículo titulado “Diseño e implementación de una mochila de carga suspendida, para generación de energía eléctrica, aprovechando las oscilaciones mecánicas generadas al caminar”, se propuso diseñar una mochila conformada por un marco rígido, atado a la espalda del usuario, y, una placa de carga, suspendida del marco a través de resortes. A medida que la persona camina, la placa se desliza hacia arriba y hacia abajo del marco. Este movimiento activa una placa dentada, que acciona un generador eléctrico. El principal aporte del artículo de investigación es la implementación de prototipos de harvesting de energía al caminar,

enfrenta retos mecánicos, eléctricos, electrónicos, y, otros de diversa índole, razón por la cual es necesario conformar equipos de trabajo multidisciplinarios.

2.2. Bases teóricas

Piezolectricidad

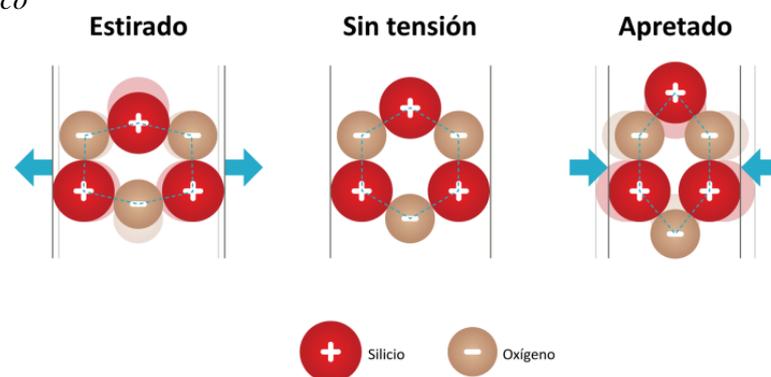
Es la capacidad que tienen ciertos materiales (cristales y ciertas cerámicas) para generar un voltaje en reacción al estrés mecánico, actualmente estos materiales son utilizados para la transformación de la energía mecánica en energía eléctrica y, forma parte de un gran número de iniciativas harvesting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

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).

Figura 1

Efecto piezoeléctrico



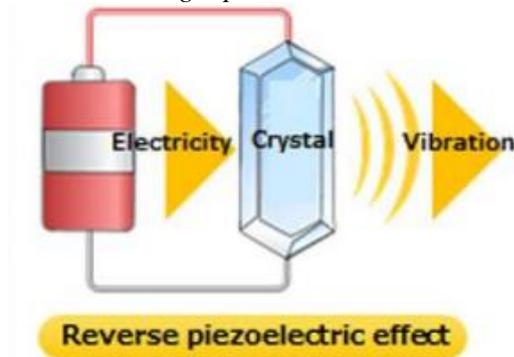
Fuente. Extraído de (Fischer & Duarte, 2018)

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.

Figura 2

Generación de electricidad mediante tecnología piezoeléctrica



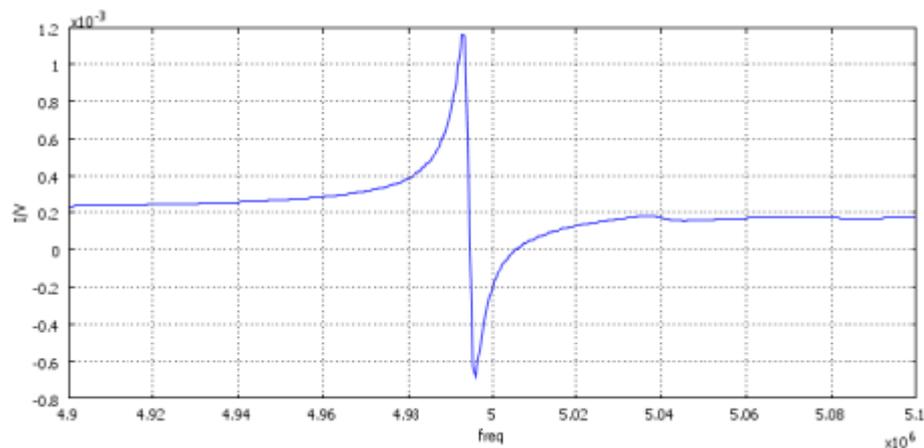
Fuente. Extraído de (Fischer & Duarte, 2018)

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 (Fischer & Duarte, 2018).

Figura 3

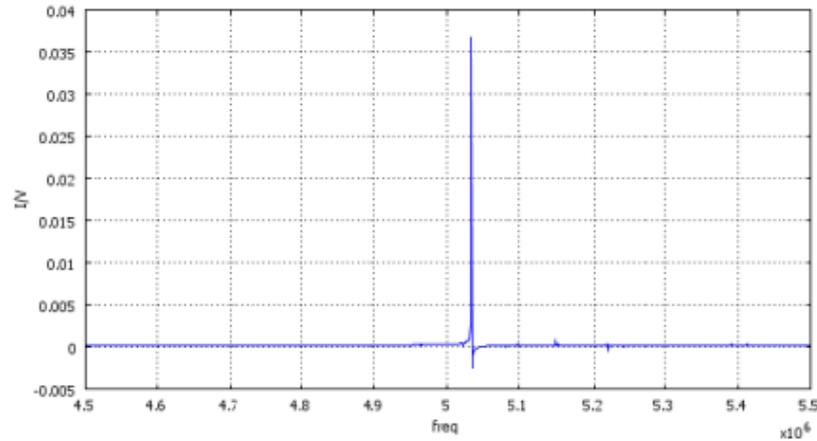
Comportamiento cuasi estático



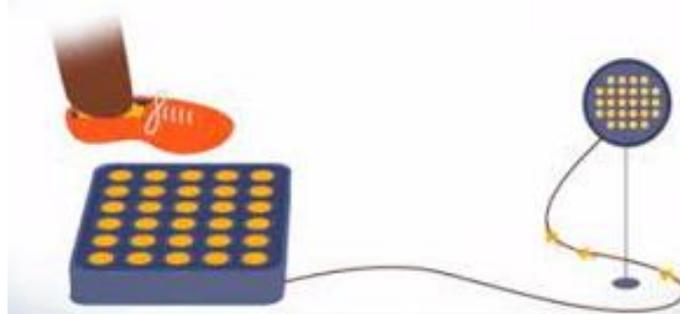
Fuente. Extraído de (Fischer & Duarte, 2018)

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 (Fischer & Duarte, 2018).

Figura 4*Comportamiento bajo carga dinámica**Fuente.* 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 (Morocho & Ordoñez, 2020).

Figura 5*Baldosas piezoeléctricas**Fuente.* Extraído de (Morocho & Ordoñez, 2020)**Controlador PWM**

Dispositivo que es usado generalmente para sistemas fotovoltaicos, el cual en el presente trabajo de investigación se utilizará como un interruptor entre las baldosas piezoeléctricas y el banco de baterías, la función principal del

controlador es la de regular la tensión producida por las baldosas piezoeléctricas que va hacia las baterías evitando estropear el banco de almacenamiento (Luna, Laguardo, & Sepúlveda, 2018).

Figura 6
Controlador PWM



Fuente. Extraído de Autosolar

Inversor CC/CA

Es un componente electrónico cuya función elemental es la de transformar la corriente continua a corriente alterna, la finalidad de todo ello es la de abastecer a los equipos que funcionen con el tipo de corriente transformada (Estabilizadores Work, 2017)

Figura 7
Inversor CC/CA



Fuente. Extraído de autosolar

Banco de baterías

Conjunto de baterías destinadas al almacenamiento de la energía producida por un sistema que utiliza energías renovables, en este caso es la tecnología piezoeléctrica, se recomienda usar baterías de ciclo profundo (Ministerio de energía de Chile, 2019).

Figura 8

Batería



Fuente. Extraído de Sun Stone Power

2.3. Definición de términos básicos

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).

Baldosas piezoeléctricas y el movimiento de las personas

Con el pasar del tiempo existen nuevas formas de conseguir energía eléctrica a través de energías renovables para así cuidar el medio ambiente. Es así que un joven británico desarrolló una idea innovadora en 2009 para generar energía, se trata de unas baldosas que al ser pisadas producen electricidad, ese así que hoy en día

Pavegen es la pionera en este tipo de generación y se han instalado en diversos sectores tales como estaciones de tren, aeropuertos y también espacios públicos (metro cuadrado, 2021).

Baldosas piezoeléctricas y el consumo eléctrico

Debido a la creciente demanda eléctrica, en estos últimos años se han utilizado más energías renovables, en vez de la quema de combustibles fósiles, es por ello que nacen nuevas maneras alternativas para reducir el consumo eléctrico de cada establecimiento una solución innovadora.

2.4. Hipótesis de investigación

2.4.1. Hipótesis general

El análisis comparativo de consumo de energía permite determinar la eficiencia energética de las tecnologías de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo

2.4.2. Hipótesis específicas

- Mediante el estudio de consumo energético permite determinar la característica energética de la tecnología de efecto piezoeléctrico.
- Mediante el estudio de consumo energético permite determinar la característica energética de la tecnología de efecto inductivo.
- Mediante el método estadístico permite determinar la eficiencia de las tecnologías de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo.

2.5. Operacionalización de las variables

Tabla 1

Variable independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	INDICADORES	INSTRUMENTO
Efecto piezoeléctrico y efecto inductivo	Propiedad de determinados sólidos para generar una carga eléctrica bajo tensión mecánica (Morocho & Ordoñez, 2020)	Número de transductores Circuito de adquisición de energía	Reporte de diseño. Reporte de diseño

Tabla 2

Variable dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	INDICADORES	INSTRUMENTO
Eficiencia energética	Es aquella cantidad utilizada de energía eléctrica en un espacio determinado (Quispe & Tonato, 2021).	Potencia Energía	Reporte de simulación Reporte de simulación

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico

Tipo de investigación

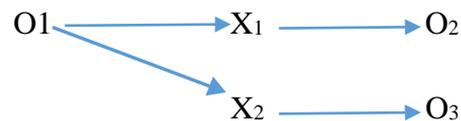
Aplicada: A partir de conocimientos establecidos se dará solución a un problema planteado

Nivel de investigación

Aplicativo: Tiene como finalidad solucionar un problema.

Diseño:

El diseño de contrastación es no experimental, que según Hernández y Mendoza (2018) indica que este tipo de investigación de corte transversal se fundamenta en la medición de la variable en un tiempo establecido. Por lo tanto, no se manipula la variable dependiente que es el consumo de energía eléctrica y la variable independiente que es la energía alternativa con baldosas piezoeléctricas.



Leyenda:

O1: Fuerzas entre 20kg y 90kg

X: Tecnologías piezoeléctrica

O2: Efecto piezoeléctrico

O3: Efecto inductivo

3.2. Población y muestra

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 mediante el efecto piezoeléctrico y efecto inductivo.

3.2.2. Muestra

La Muestra por ser pequeña, será igual a la población de estudio.

3.3. Técnicas de recolección de datos

Descripción de las técnicas e instrumentos

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 (Azüero, 2019). Como resultado, el enfoque se utilizará para recopilar información sobre los parámetros eléctricos del sistema de energía alternativa de baldosas piezoeléctricas.

Análisis documental: Según Azüero (2019), indica que es una investigación en medios digitales, artículos o libros sobre la actividad investigadora planificada; en este sentido, la presente investigación recogerá información sobre los piezoeléctricos y los distintos dispositivos eléctricos a emplear.

Asimismo, para la recolección de la información necesaria para la presente investigación, a continuación, se detallan los instrumentos de recolección de datos:

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 el consumo de energía actual de la discoteca Ysla Vip.

Guía de análisis documental: Según Hernández y Mendoza (2018) mencionan que las guías de análisis documental son factibles en la captación de las especificaciones necesarias para el trabajo de investigación utilizando el enfoque de análisis documental, por lo que, la presente investigación utilizará registros de información para la selección de los materiales de las baldosas piezoeléctricas.

3.4. Técnicas para el procesamiento de la información

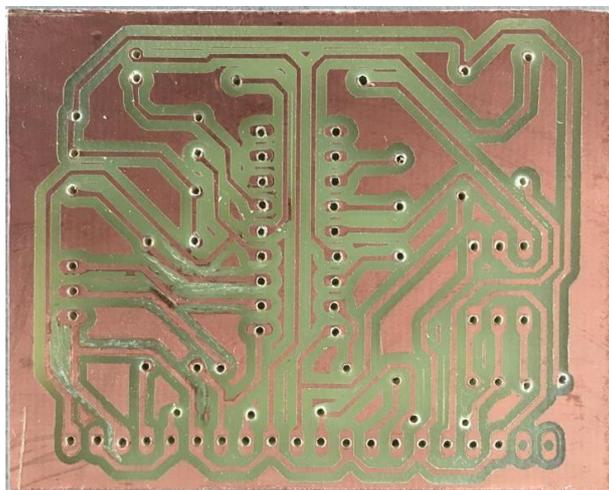
A continuación, se presenta el circuito propuesto para el desarrollo de la investigación.

Toma de datos del sistema inductivo

En la figura 9 se observa el PCB del circuito utilizado para la medición de energía generada por la baldosa al ser sometida a diferentes pesos.

Figura 9

PCB de circuito de medición de energía



En la figura 10 se observa el prototipo de la baldosa utilizado para medición de energía al caminar.

Figura 10

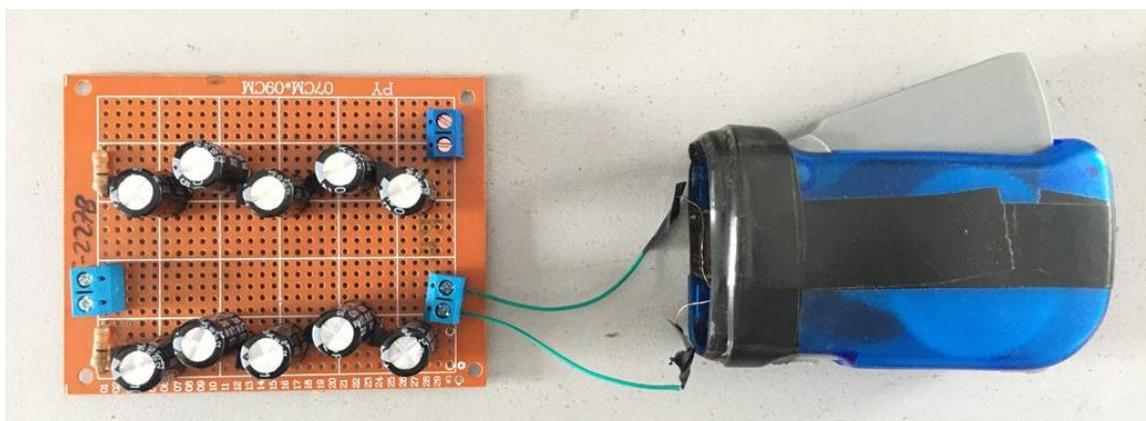
Prototipo de la baldosa para medición de energía



En la figura 11 se observa el Prototipo e implementación de baldosa para medición de energía al caminar.

Figura 11

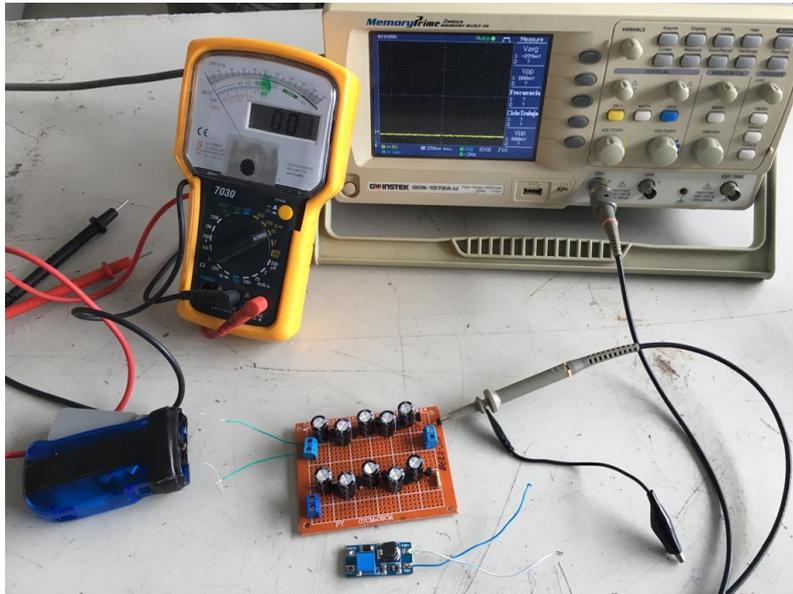
Prototipo e implementación de baldosa para medición de energía



En la figura 12 se observa dos circuitos quintuplicador experimental de la baldosa para realizar la toma de datos.

Figura 12

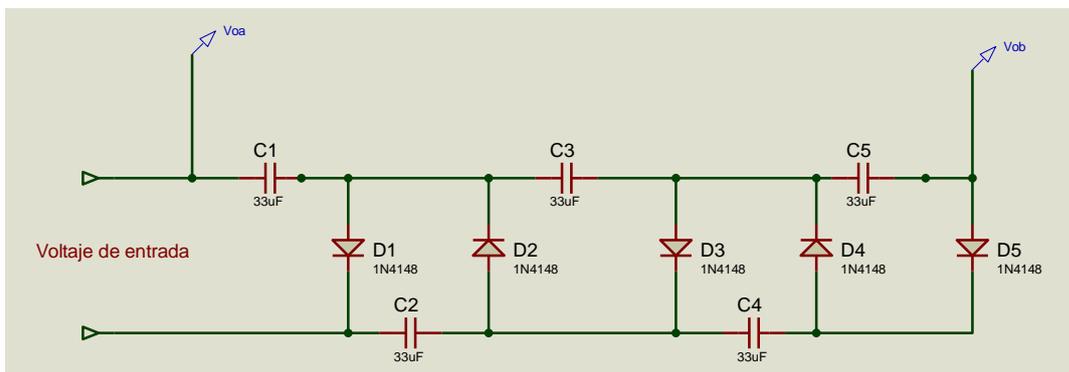
Circuito experimental para toma de datos



En la figura 13 se observa el circuito quintuplicador de tensión utilizando diodos rectificadores.

Figura 13

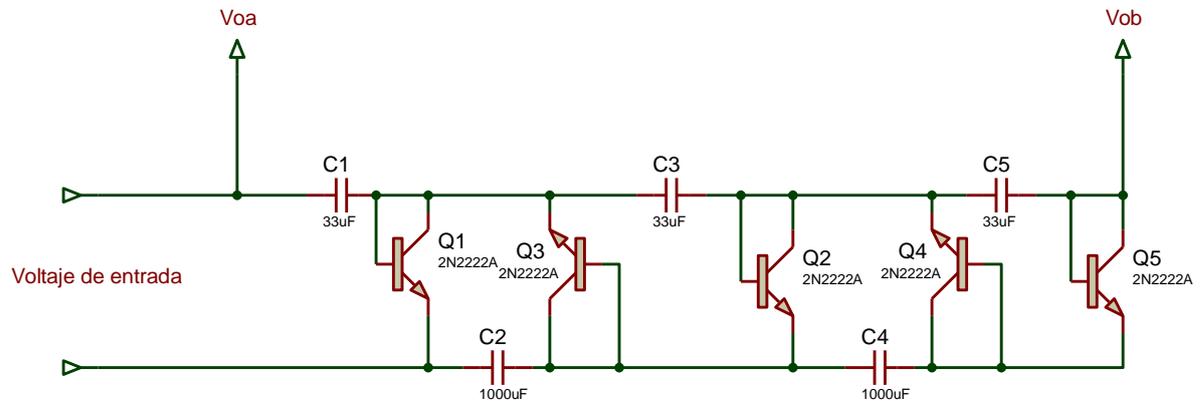
Circuito de prueba quintuplicador de tensión con diodo rectificador



En la figura 14 se observa el circuito quintuplicador de tensión utilizando transistor BJT.

Figura 14

Circuito de prueba - quintuplicador de tensión con transistor BJT

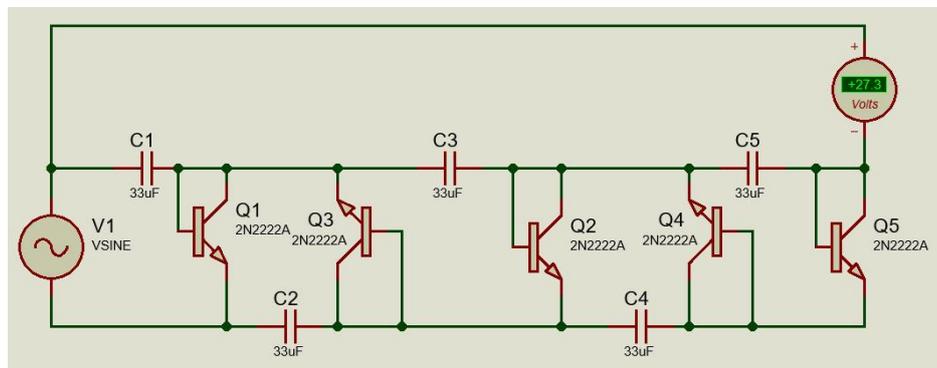


En la figura 15 se observa el circuito quintuplicador de tensión utilizando transistores

BJT.

Figura 15

Circuito de prueba - quintuplicador de tensión con transistor BJT

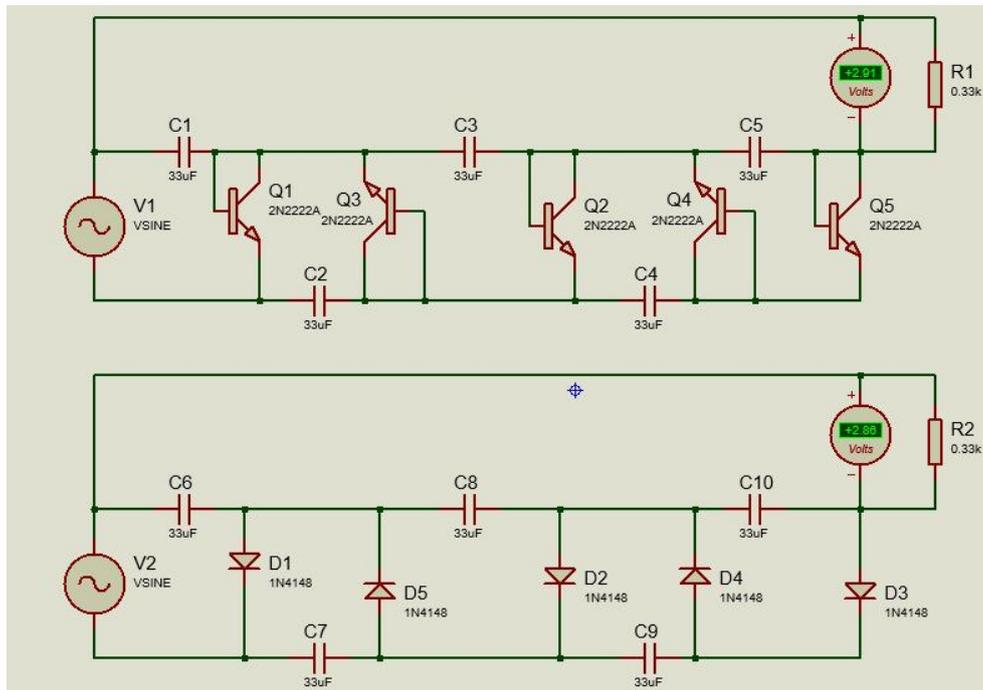


En la figura 16 se observa el circuito quintuplicador de tensión utilizando transistores

BJT y diodos rectificadores.

Figura 16

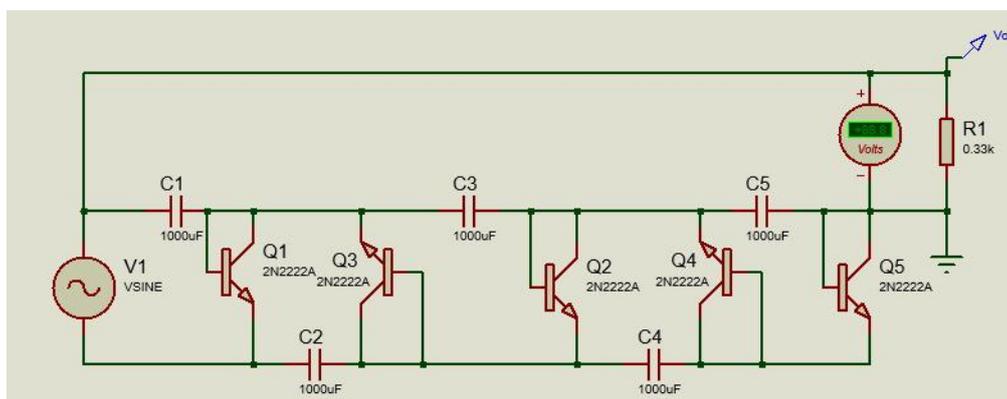
Circuito quintuplicador de tensión con transistor BJT y diodo rectificador



En la figura 17 se observa el circuito de prueba final utilizando transistores BJT para la simulación utilizando el software PROTEUS y toma de datos de forma experimental para masas de 86kg, 73kg, 71kg, 35kg, 24kg.

Figura 17

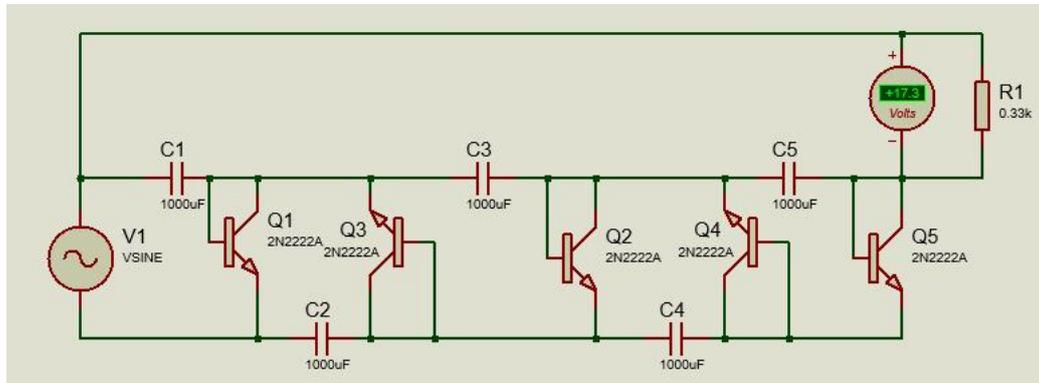
Circuito de prueba final



En la figura 18 se observa el circuito de prueba utilizando transistores BJT para la simulación utilizando el software PROTEUS y toma de datos de forma experimental para una masa de 86kg.

Figura 18

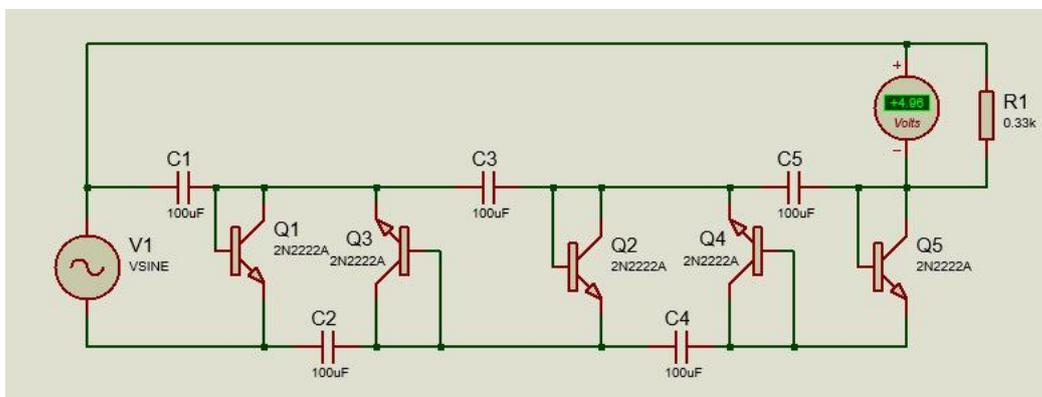
Circuito de prueba para una masa de 86kg



En la figura 19 se observa el circuito de prueba utilizando transistores BJT para la simulación utilizando el software PROTEUS y toma de datos de forma experimental para una masa de 24kg.

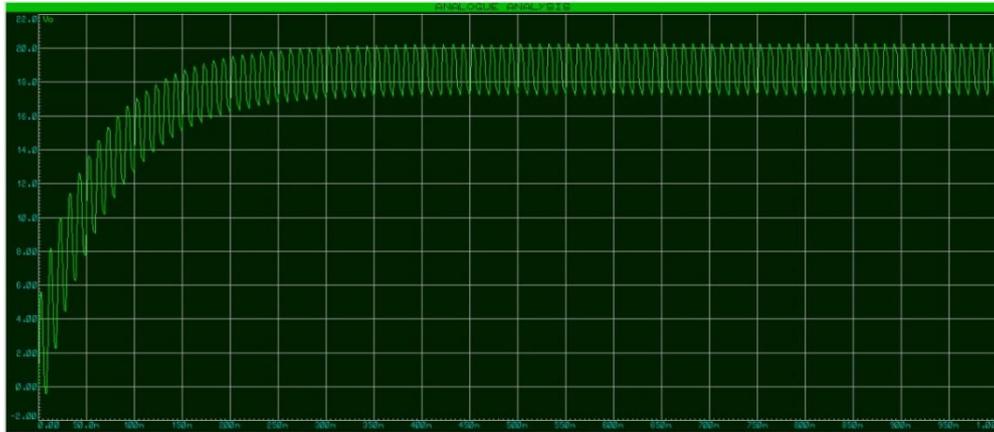
Figura 19

Circuito de prueba para una masa de 24kg



En la figura 20 se observa la respuesta del sistema para una estimulación continúa utilizando el software de simulación PROTEUS.

Figura 20:
Respuesta del sistema para una estimulación continua



En la figura 21 se observa la respuesta del sistema para una masa de 86kg y $V_m=17.2v$, utilizando el software de simulación PROTEUS.

Figura 21:
Respuesta del sistema para una masa de 86kg $V_m=17.2v$

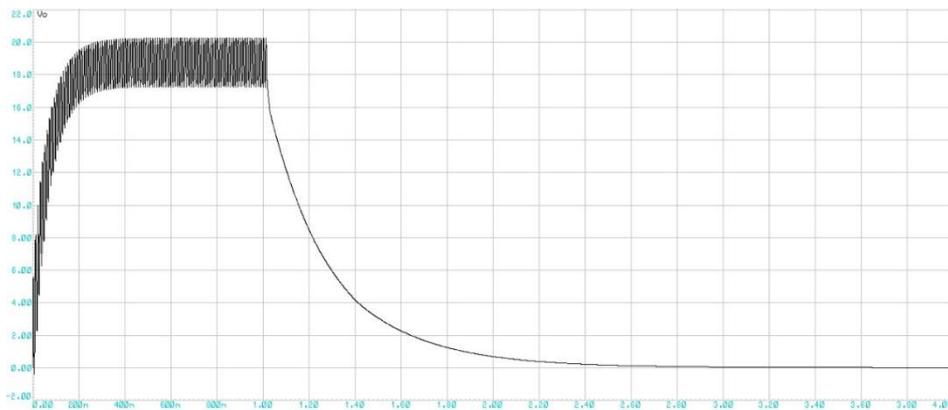
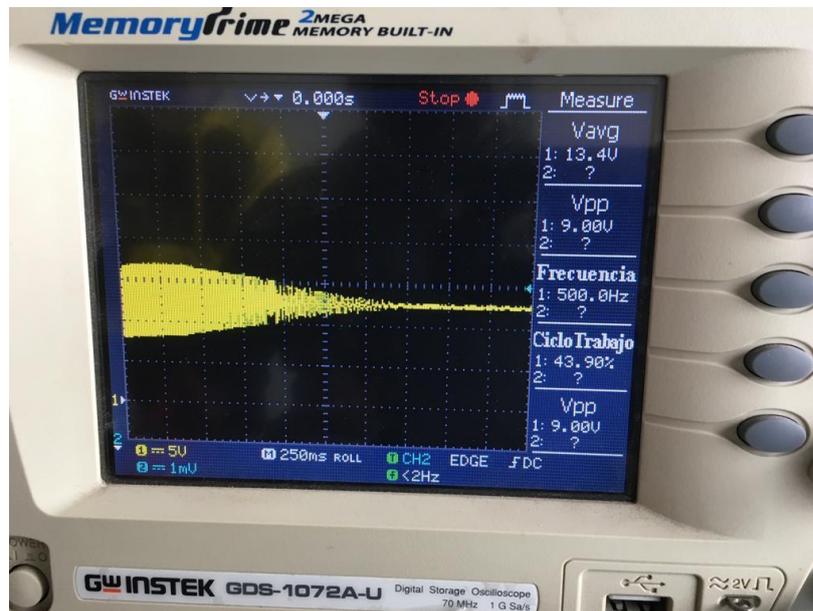
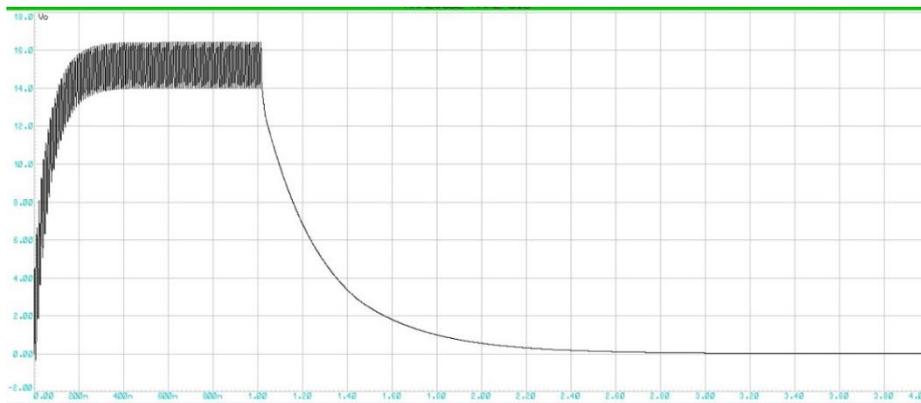


Figura 22
 Simulación en osciloscopio para una masa de 86kg



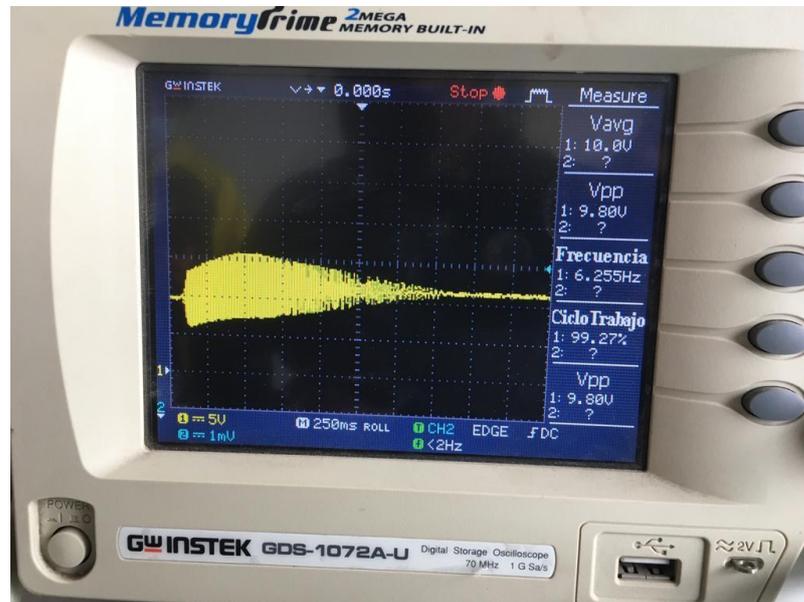
En la figura 23 se observa la respuesta del sistema para una masa de 73kg y $V_m=14.1v$, utilizando el software de simulación PROTEUS.

Figura 23
 Respuesta del sistema para una masa de 73Kg $V_m=14.1v$



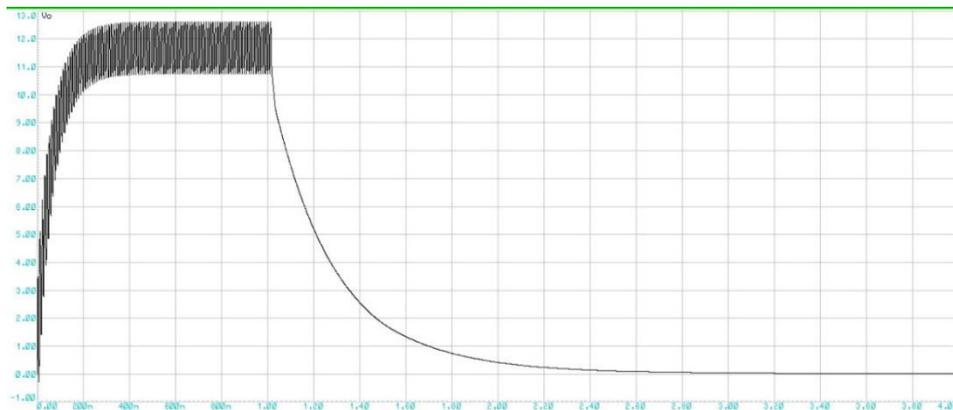
En la figura 24 se observa la respuesta del sistema para una masa de 73kg, utilizando el osciloscopio.

Figura 24
 Simulación en osciloscopio para una masa de 73kg



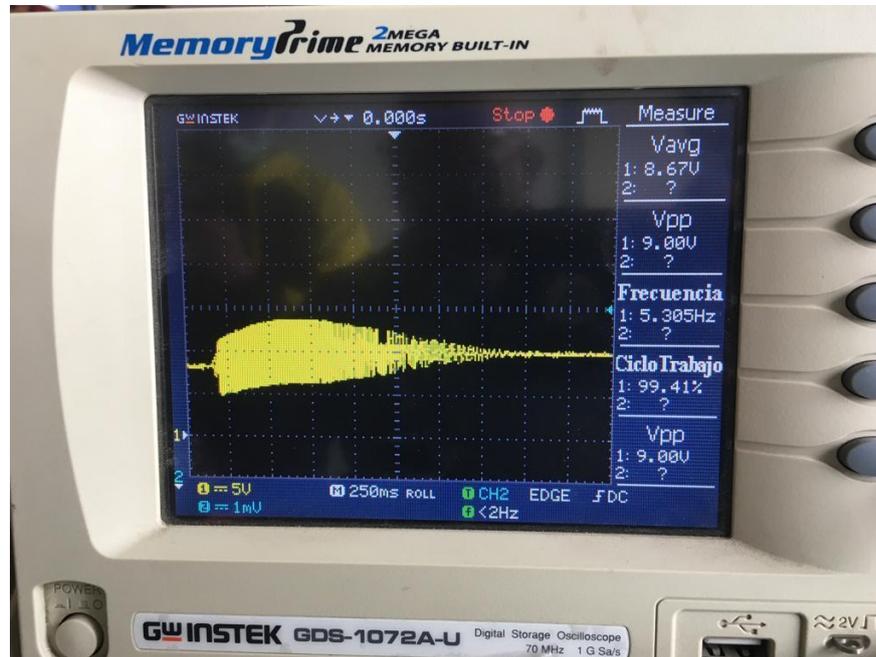
En la figura 25 se observa la respuesta del sistema para una masa de 71kg y $V_m=10.8v$, utilizando el software de simulación PROTEUS.

Figura 25
 Respuesta del sistema para una masa de 71Kg $V_m=10.8v$



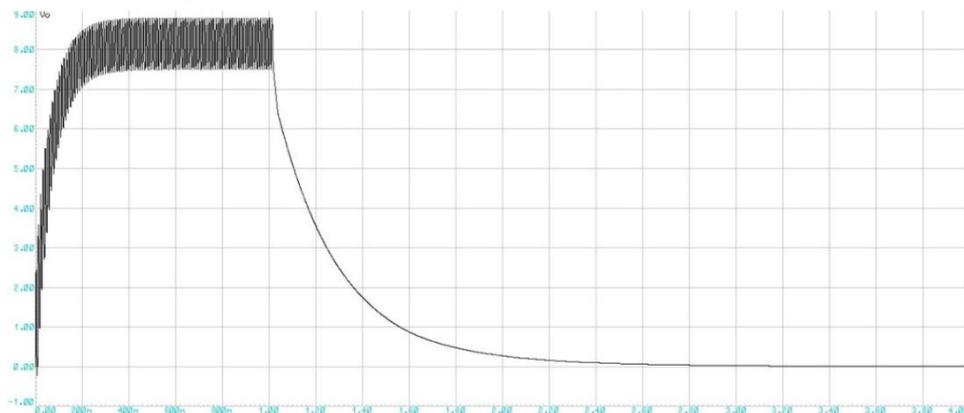
En la figura 26 se observa la respuesta del sistema para una masa de 71kg, utilizando el osciloscopio.

Figura 26
 Simulación en osciloscopio para una masa de 71kg



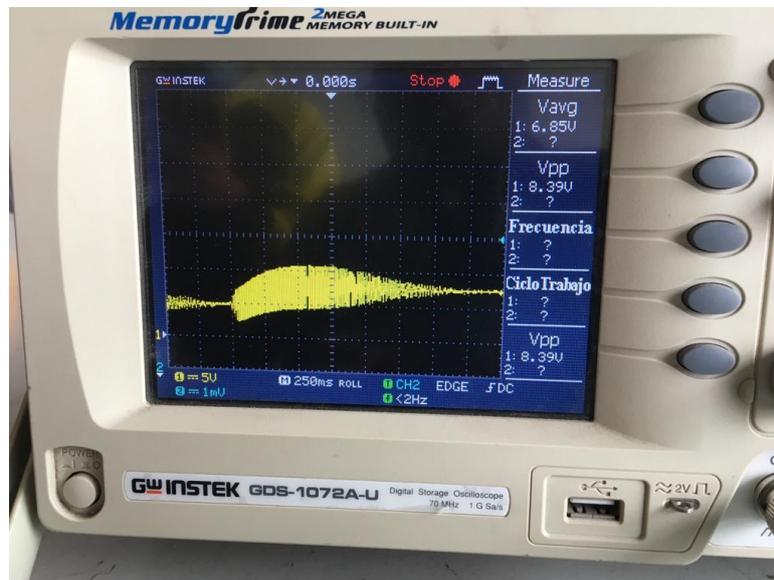
En la figura 27 se observa la respuesta del sistema para una masa de 35kg y $V_m=7.5v$, utilizando el software de simulación PROTEUS.

Figura 27
 Respuesta del sistema para una masa de 35Kg $V_m=7.5v$



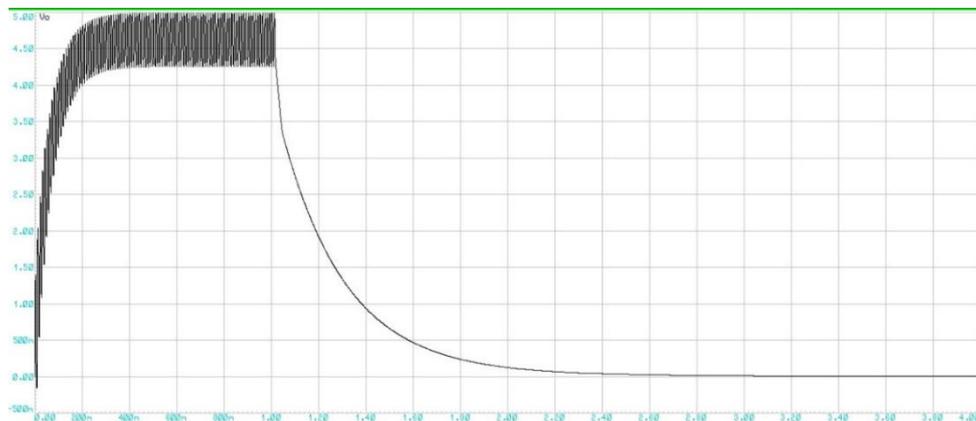
En la figura 28 se observa la respuesta del sistema para una masa de 35kg, utilizando el osciloscopio.

Figura 28
 Simulación en osciloscopio para una masa de 35kg



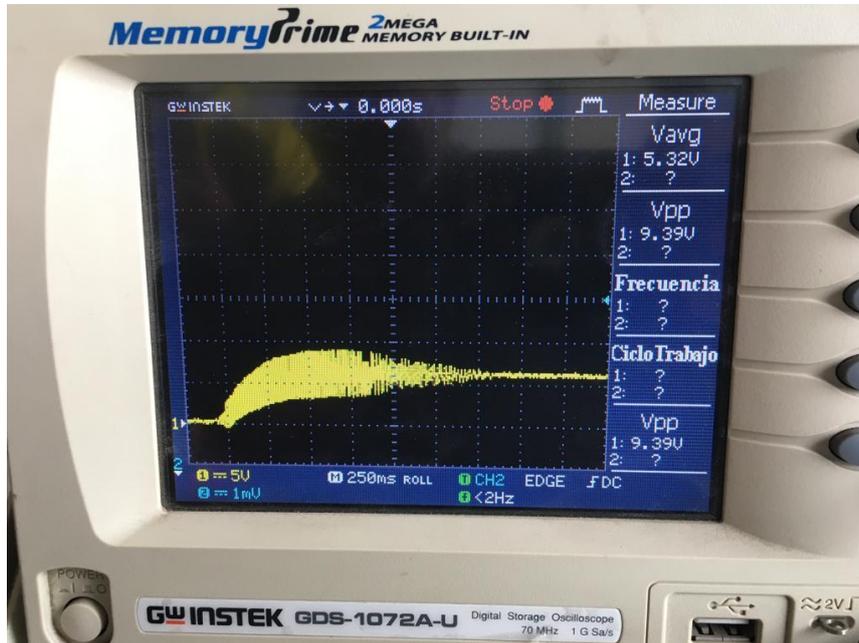
En la figura 29 se observa la respuesta del sistema para una masa de 24kg y $V_m=4.28\text{v}$, utilizando el software de simulación PROTEUS.

Figura 29
 Respuesta del sistema para una masa de 24Kg $V_m=4.28\text{v}$



En la figura 30 se observa la respuesta del sistema para una masa de 24kg, utilizando el osciloscopio.

Figura 30
Simulación en osciloscopio para una masa de 24kg



Toma de datos del sistema piezoeléctrico

En las figuras 31 y 32, 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 fierro 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 31

Prototipo del sistema piezoeléctrico



Figura 32

Baldosa piezoeléctrica de 40cmx40cm



Según se observa en la figura 33, 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 33

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:

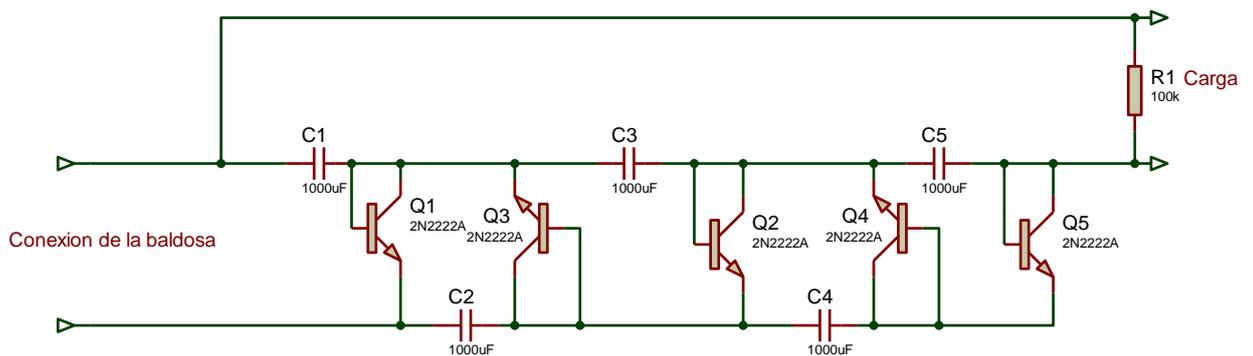
En la figura 34, se muestra el circuito extractor de tensión de la baldosa piezoeléctrica, este está conformado por cinco transistores que desarrollan la función de multiplicador de tensión debido a que señal de entrada es de tipo alterna (cambia de polaridad), el voltaje contenido en C1 es la amplitud 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 cuatriplican 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 34

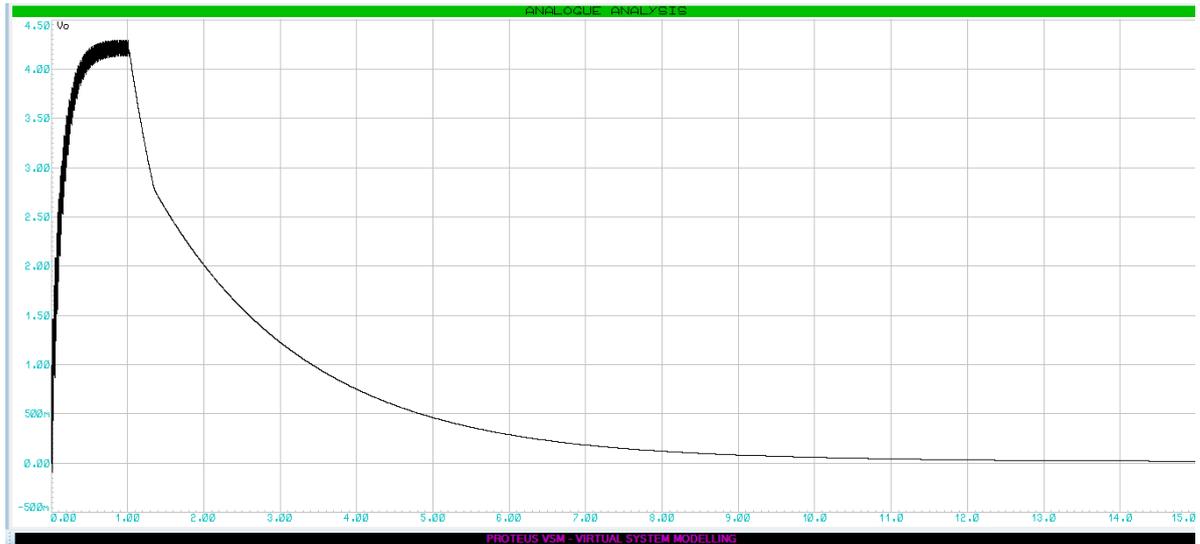
Circuito extractor de tensión de la baldosa piezoeléctrica



En la figura 35, 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 71kg.

Figura 35

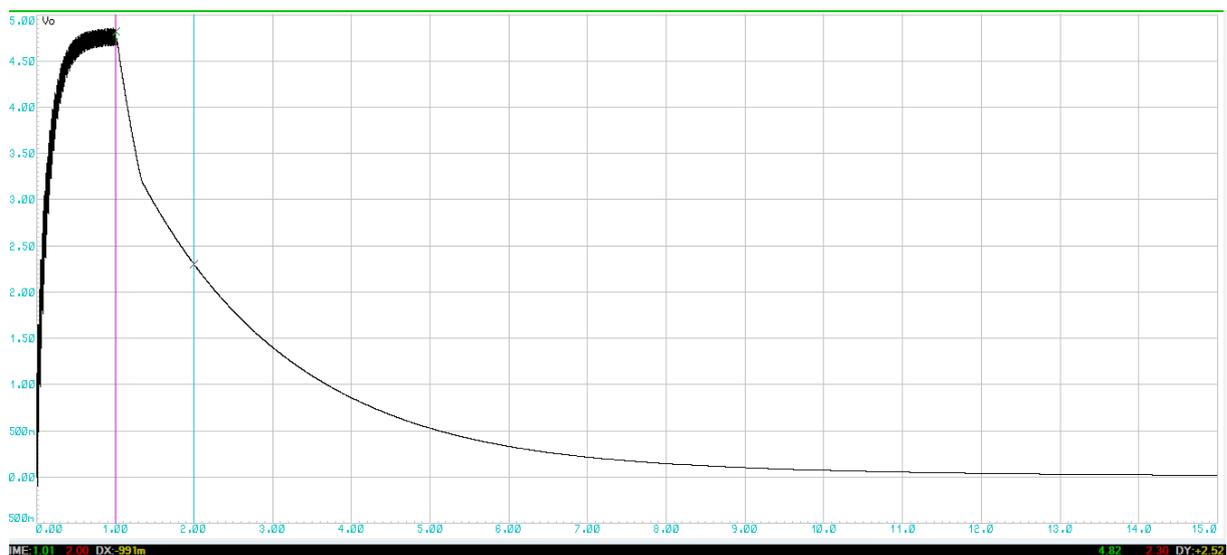
Tiempo comprendido desde 0 hasta 1s para 71Kg



En la figura 36, 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 73kg.

Figura 36

Tiempo comprendido desde 0 hasta 1s para 73Kg



En la figura 37, 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 86kg.

Figura 37

Tiempo comprendido desde 0 hasta 1s para 86Kg



CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Análisis de los resultados

Cálculo de la energía generada por el sistema Inductivo (dínamo)

Para 86kg se obtiene $f(t)$ que es el voltaje en función del tiempo y el valor de 8 voltios es el valor del voltaje para un $t = 1/5$ s. E representa la energía en Joule.

$$f(t) = 20e^{-at}, \quad f\left(\frac{1}{5}\right) = 8 = 20e^{-\frac{a}{5}}; \quad a = 5\text{Ln}\left(\frac{20}{8}\right) = \text{Ln}\left(\frac{5}{2}\right)^5$$

$$a = \text{Ln}\left(\frac{5}{2}\right)^5 =$$

$$f(t) = 20e^{-\text{Ln}\left(\frac{5}{2}\right)^5 t} = 20\left(\frac{5}{2}\right)^{-5t}$$

$$E = \int_0^{\frac{3}{2}} \frac{(20e^{-at})^2}{R} dt = \frac{20^2}{330} \int_0^{\frac{3}{2}} e^{-2at} dt = \frac{20^2}{330} \left(\frac{e^{-2at}}{-2a} \right) \Bigg|_0^{\frac{3}{2}} =$$

$$\frac{20^2}{330(2a)} \left(1 - e^{-\frac{2a3}{2}} \right) = \frac{20^2}{330(2a)} (1 - e^{-3a}) \text{Joule} = 0,13228551 \text{ Joule}$$

Finalmente, para una masa de 86kg genera *0,13228551 Joule*

Para 73kg se obtiene $f(t)$ que es el voltaje en función del tiempo y el valor de 7 voltios es el valor del voltaje para un $t = 1/5$ s. E representa la energía en Joule

$$f(t) = 16e^{-at}, \quad f\left(\frac{1}{5}\right) = 7 = 16e^{-\frac{a}{5}}; \quad a = 5\text{Ln}\left(\frac{16}{7}\right) = \text{Ln}\left(\frac{16}{7}\right)^5$$

$$a = \text{Ln}\left(\frac{16}{7}\right)^5$$

$$f(t) = 16e^{-\text{Ln}\left(\frac{16}{7}\right)^5 t} = 16\left(\frac{16}{7}\right)^{-5t}$$

$$E = \int_0^{\frac{3}{2}} \frac{(16e^{-at})^2}{R} dt = \frac{16^2}{330} \int_0^{\frac{3}{2}} e^{-2at} dt = \frac{16^2}{330} \left(\frac{e^{-2at}}{-2a} \right) \Bigg|_0^{\frac{3}{2}}$$

$$= \frac{16^2}{330(2a)} \left(1 - e^{-\frac{2a3}{2}} \right) = \frac{16^2}{330(2a)} (1 - e^{-3a}) \text{Joule} = \mathbf{0,0938399 \text{Joule}}$$

Finalmente, para una masa de 73kg genera *0,0938399Joule*

Para 71kg se obtiene $f(t)$ que es el voltaje en función del tiempo y el valor de 5.1 voltios es el valor del voltaje para un $t = 1/5s$. E representa la energía en Joule

$$f(t) = 12.8e^{-at}, \quad f\left(\frac{1}{5}\right) = 5.1 = 12.8e^{-\frac{a}{5}}; \quad a = 5Ln\left(\frac{12.8}{5.1}\right)$$

$$= Ln\left(\frac{12.8}{5.1}\right)^5$$

$$a = Ln\left(\frac{12.8}{5.1}\right)^5$$

$$f(t) = 12.8e^{-Ln\left(\frac{12.8}{5.1}\right)^5 t} = 12.8\left(\frac{12.8}{5.1}\right)^{-5t}$$

$$E = \int_0^{\frac{3}{2}} \frac{(12.8e^{-at})^2}{R} dt = \frac{12.8^2}{330} \int_0^{\frac{3}{2}} e^{-2at} dt =$$

$$\frac{12.8^2}{330} \left(\frac{e^{-2at}}{-2a} \right) \Bigg|_0^{\frac{3}{2}} = \frac{12.8^2}{330(2a)} \left(1 - e^{-\frac{2a3}{2}} \right) = \frac{12.8^2}{330(2a)} (1 - e^{-3a}) \text{Joule} = \mathbf{0,05395369 \text{Joule}}$$

Finalmente, para una masa de 71kg genera *0,05395369Joule*

Para 35kg se obtiene $f(t)$ que es el voltaje en función del tiempo y el valor de 3.6 voltios es el valor del voltaje para un $t = 1/5$ s. E representa la energía en Joule

$$f(t) = 8.8e^{-at}, \quad f\left(\frac{1}{5}\right) = 3.6 = 8.8e^{-\frac{a}{5}}; \quad a = 5\text{Ln}\left(\frac{8.8}{3.6}\right) = \text{Ln}\left(\frac{8.8}{3.6}\right)^5$$

$$a = \text{Ln}\left(\frac{8.8}{3.6}\right)^5$$

$$f(t) = 8.8e^{-\text{Ln}\left(\frac{8.8}{3.6}\right)^5 t} = 8.8\left(\frac{8.8}{3.6}\right)^{-5t}$$

$$E = \int_0^{\frac{3}{2}} \frac{(8.8e^{-at})^2}{R} dt = \frac{8.8^2}{330} \int_0^{\frac{3}{2}} e^{-2at} dt =$$

$$\frac{8.8^2}{330} \left(\frac{e^{-2at}}{-2a}\right) \Bigg|_0^{\frac{3}{2}} = \frac{8.8^2}{330(2a)} \left(1 - e^{-\frac{2a3}{2}}\right)$$

$$= \frac{8.8^2}{330(2a)} (1 - e^{-3a}) \text{Joule} = \mathbf{0,02625438\text{Joule}}$$

Finalmente, para una masa de 35kg genera $0,02625438\text{Joule}$

Para 24kg se obtiene $f(t)$ que es el voltaje en función del tiempo y el valor de 1.8 voltios es el valor del voltaje para un $t = 1/5$ s. E representa la energía en Joule

$$f(t) = 5e^{-at}, \quad f\left(\frac{1}{5}\right) = 1.8 = 5e^{-\frac{a}{5}}; \quad a = 5\text{Ln}\left(\frac{5}{1.8}\right) = \text{Ln}\left(\frac{5}{1.8}\right)^5$$

$$a = \text{Ln}\left(\frac{5}{1.8}\right)^5$$

$$f(t) = 5e^{-\text{Ln}\left(\frac{5}{1.8}\right)^5 t} = 5\left(\frac{5}{1.8}\right)^{-5t}$$

$$E = \int_0^{\frac{3}{2}} \frac{(5e^{-at})^2}{R} dt = \frac{8.8^2}{330} \int_0^{\frac{3}{2}} e^{-2at} dt = \frac{5^2}{330} \left(\frac{e^{-2at}}{-2a} \right) \Bigg|_0^{\frac{3}{2}} = \frac{5^2}{330(2a)} \left(1 - e^{-\frac{2a3}{2}} \right) =$$

$$\frac{5^2}{330(2a)} (1 - e^{-3a}) \text{Joule} = \mathbf{0,00741521 \text{Joule}}$$

Finalmente, para una masa de 24kg genera *0,00741521Joule*

Cálculo de la energía generada por el sistema piezoeléctrico

El tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 71kg 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.

Para 71kg

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

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

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

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

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

$$E = 0.0259 \text{mJ}$$

En la figura 38, se observa el tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 71kg.

Figura 38

Tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 71kg



El tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 71kg 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.

Para 73kg

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

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

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

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

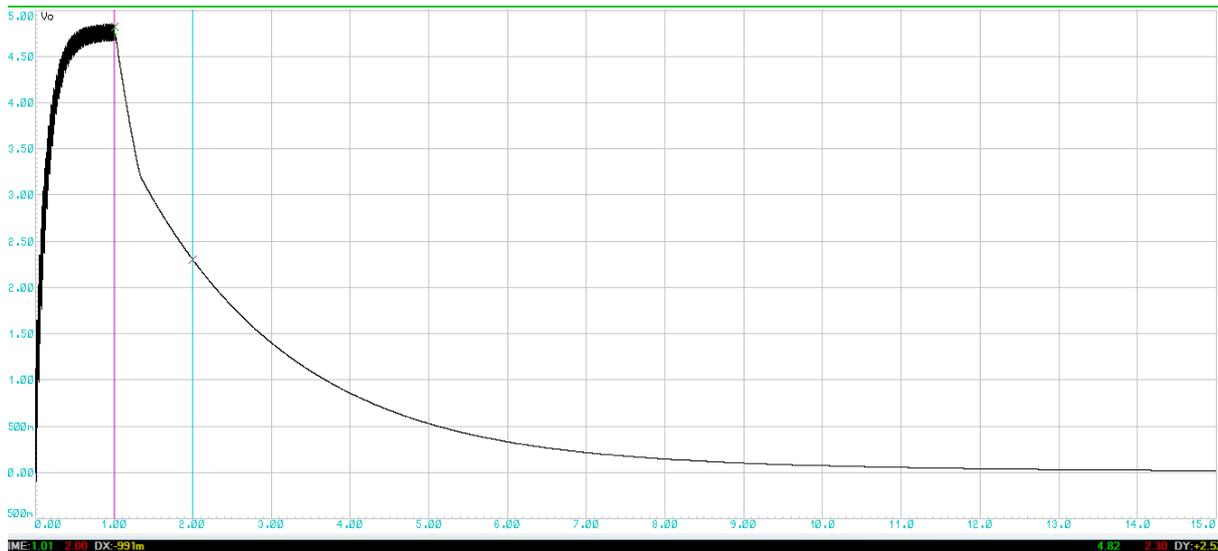
$$E = \frac{(4.83)^2}{100k(2a)} (1 - e^{-20a}) = \frac{(4.83)^2}{100(2a)} (1 - e^{-20a}) mJ$$

$$E = 0.1570 mJ$$

En la figura 39, se observa el tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 73kg.

Figura 39

Tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 73kg



El tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 86kg 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.

Para 86kg

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

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

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

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

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

$$E = 0.3512 mJ$$

En la figura 40, se observa el tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 86kg.

Figura 40

Tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 86kg



Contrastación de la hipótesis

La tecnología piezoeléctrica presenta forma exponencial en las características energéticas. Como se muestran en las figuras 41,42 y 43

Figura 41

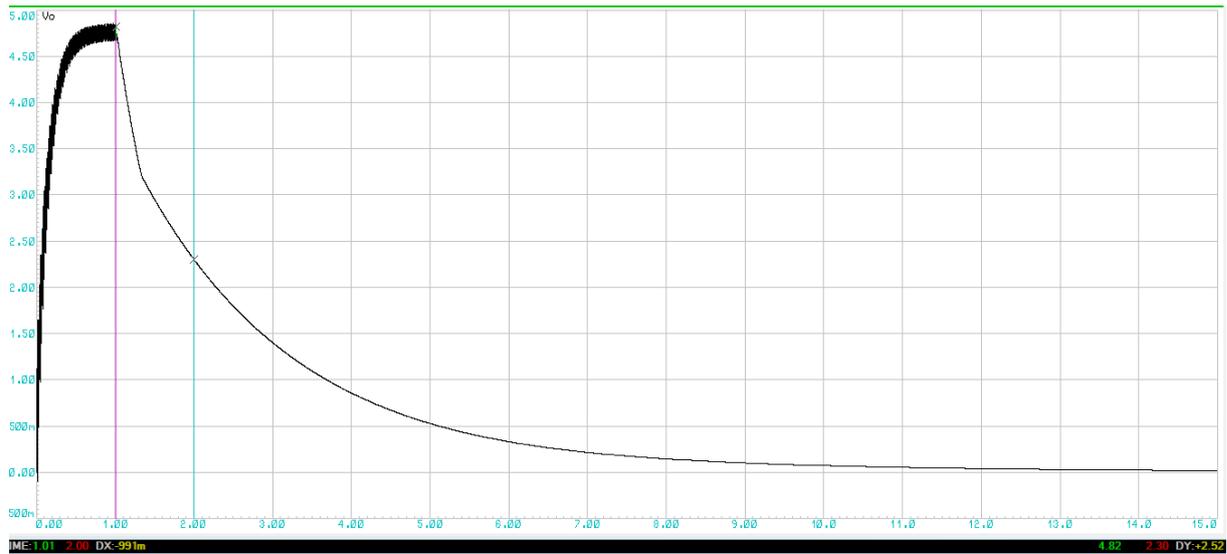
Tiempo de descarga de la energía para un peso de 71kg



El tiempo de descarga de la energía para un peso de 71kg 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.

Figura 42

Tiempo de descarga de la energía para un peso de 73kg



El tiempo de descarga de la energía almacenada para un peso de 86kg 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.

Figura 43

Tiempo de descarga de la energía para un peso de 86kg



En la tabla 3 se muestran los voltajes y energía de la baldosa piezoeléctrica cuando fue sometida a diferentes masas.

Tabla 3

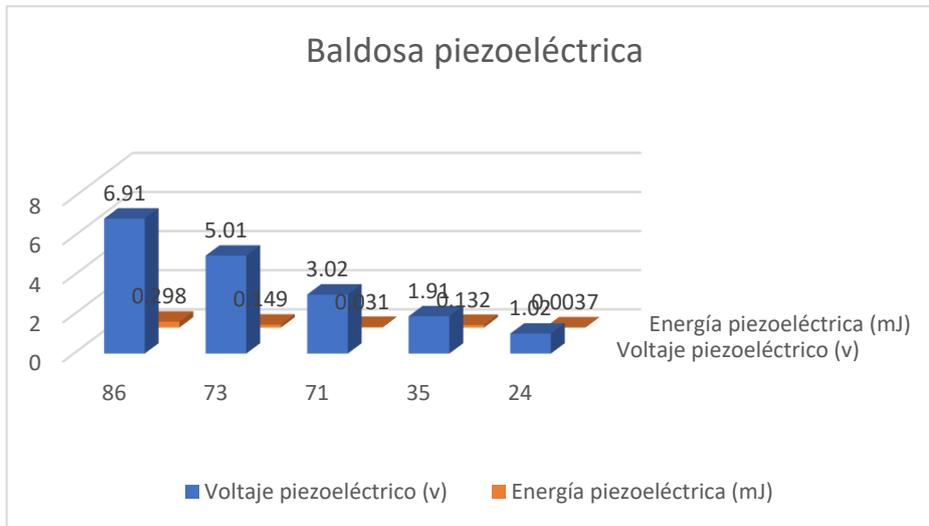
Voltaje y energía de la baldosa piezoeléctrica

Masa (kg)	86	73	71	35	24
Voltaje piezoeléctrico (v)	6.91	5.01	3.02	1.91	1.02
Energía piezoeléctrica (mJ)	0.298	0.149	0.031	0.132	0.0037

En la figura 44 se muestran los voltajes y energía de la baldosa piezoeléctrica para diferentes masas.

Figura 44

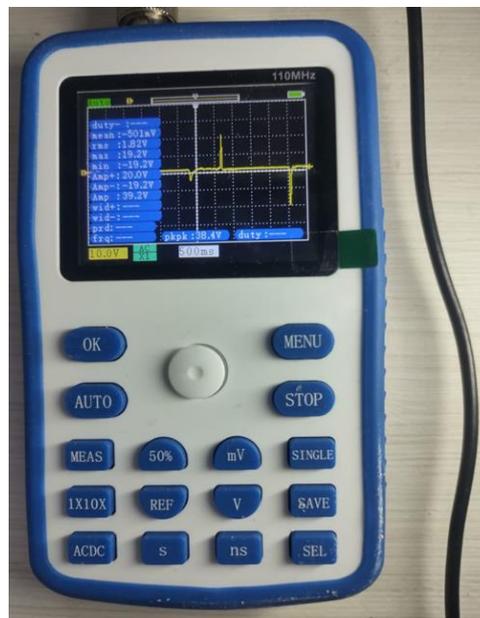
Voltaje y energía de la baldosa piezoeléctrica para diferentes masas.



En la figura 45 se muestran la respuesta del sistema de la baldosa piezoeléctrica para diferentes masas.

Figura 45

Respuesta del sistema de la baldosa piezoeléctrica



La tecnología inductiva presenta forma exponencial en las características energéticas. Como se muestran en las figuras 46, 48, 50, 52 y 54.

Figura 46

Respuesta del sistema para una masa de 86kg $V_m=17.2v$

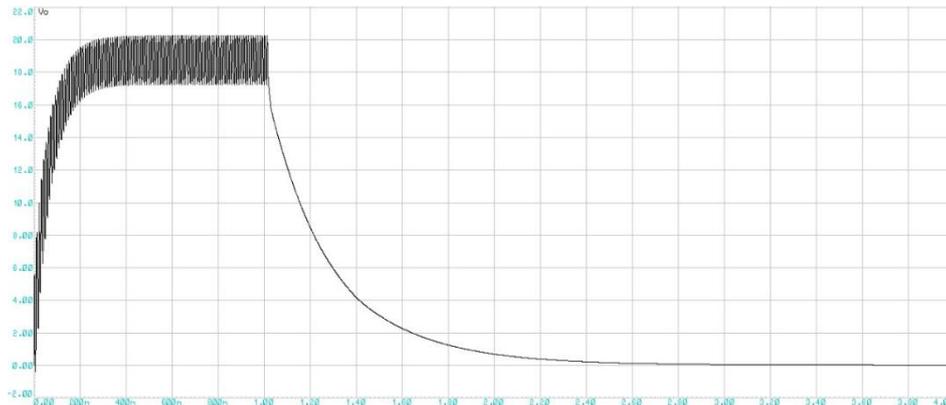
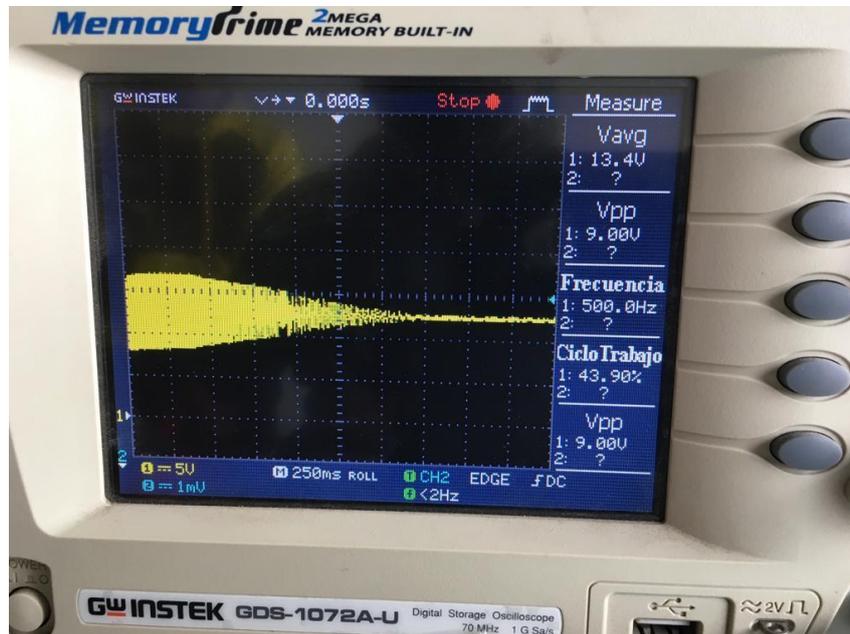


Figura 47

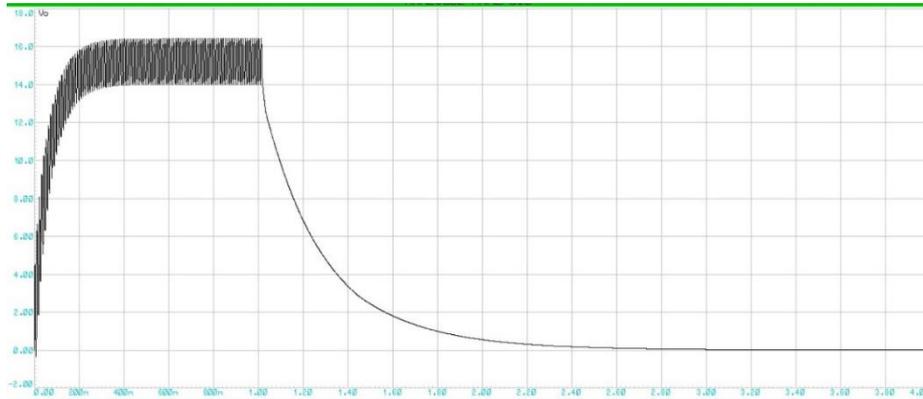
Simulación en osciloscopio para una masa de 86kg



En la figura 48 se observa la respuesta del sistema para una masa de 73kg y $V_m=14.1v$, utilizando el software de simulación PROTEUS.

Figura 48

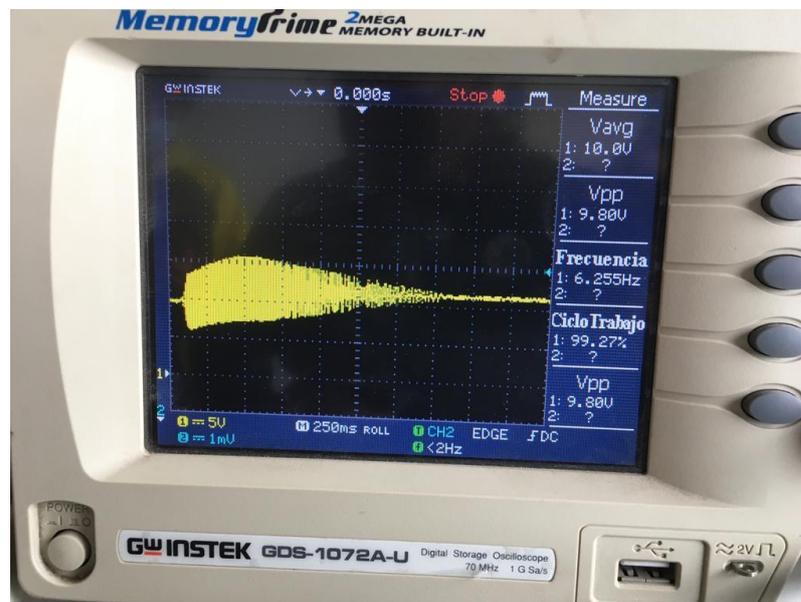
Respuesta del sistema para una masa de 73Kg $V_m=14.1v$



En la figura 49 se observa la respuesta del sistema para una masa de 73kg, utilizando el osciloscopio.

Figura 49

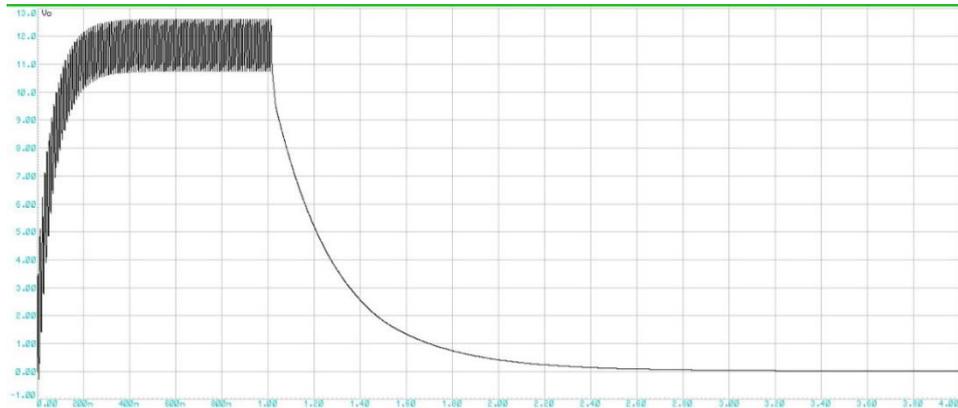
Simulación en osciloscopio para una masa de 73kg



En la figura 50 se observa la respuesta del sistema para una masa de 71kg y $V_m=10.8v$, utilizando el software de simulación PROTEUS.

Figura 50

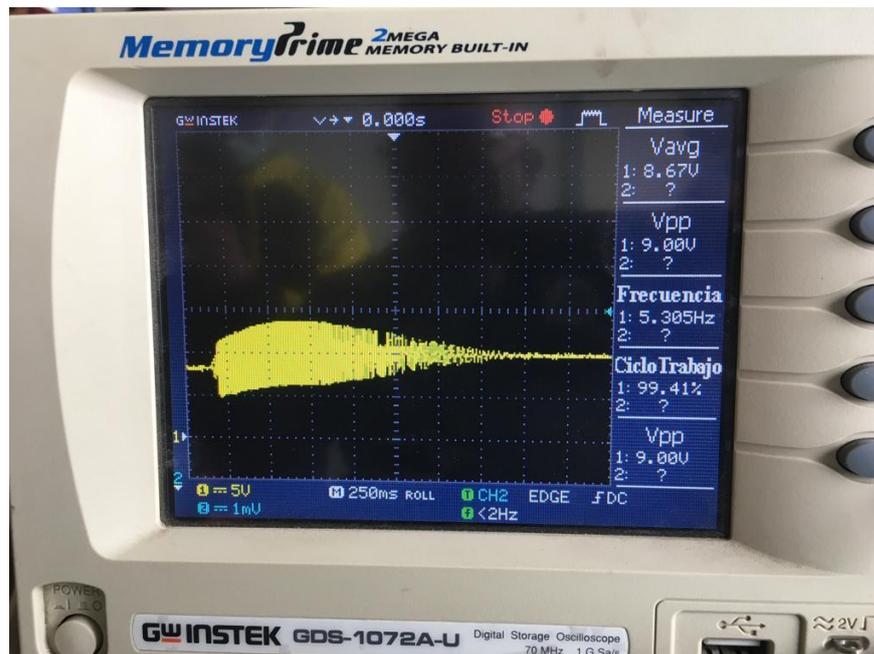
Respuesta del sistema para una masa de 71kg $V_m=10.8v$



En la figura 51 se observa la respuesta del sistema para una masa de 71kg, utilizando el osciloscopio.

Figura 51

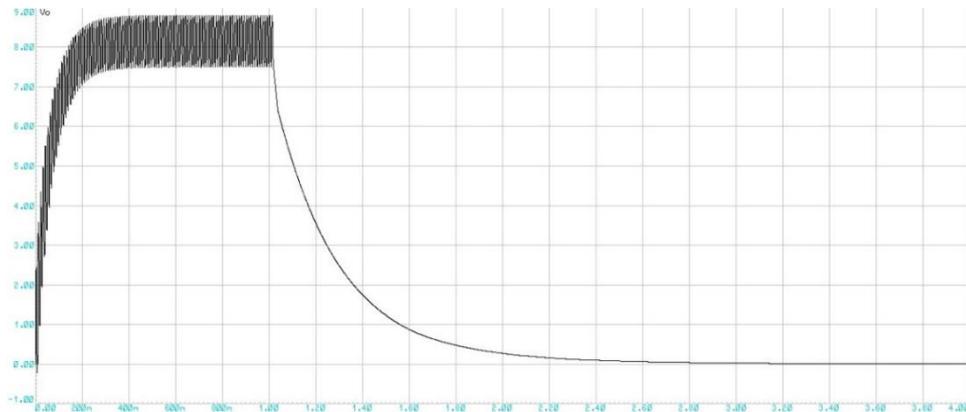
Simulación en osciloscopio para una masa de 71kg



En la figura 52 se observa la respuesta del sistema para una masa de 35kg y $V_m=7.5v$, utilizando el software de simulación PROTEUS.

Figura 52

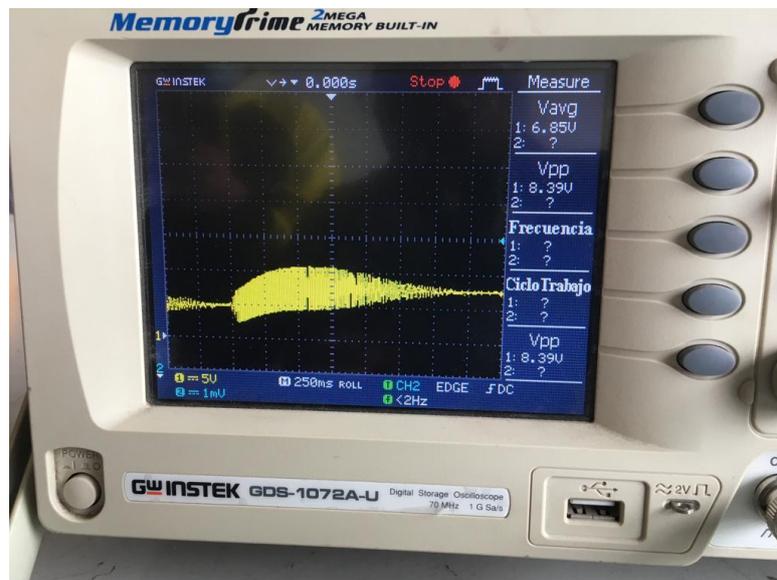
Respuesta del sistema para una masa de 35Kg $V_m=7.5v$



En la figura 53 se observa la respuesta del sistema para una masa de 35kg, utilizando el osciloscopio.

Figura 53

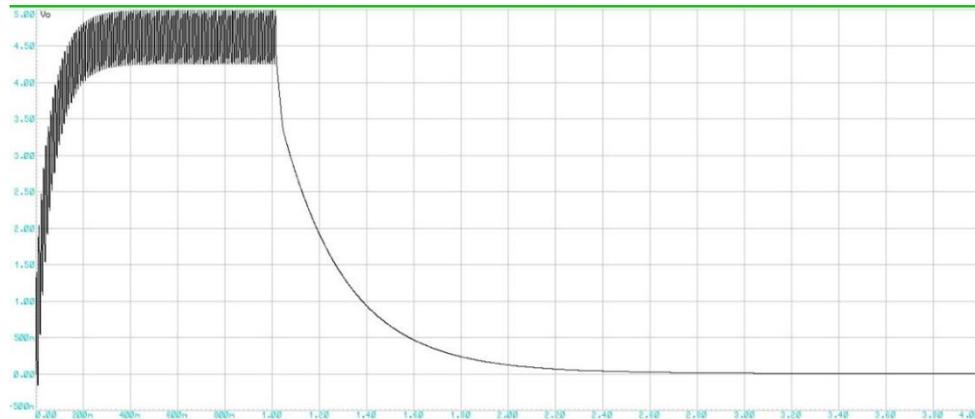
Simulación en osciloscopio para una masa de 35kg



En la figura 54 se observa la respuesta del sistema para una masa de 24kg y $V_m=4.28v$, utilizando el software de simulación PROTEUS.

Figura 54

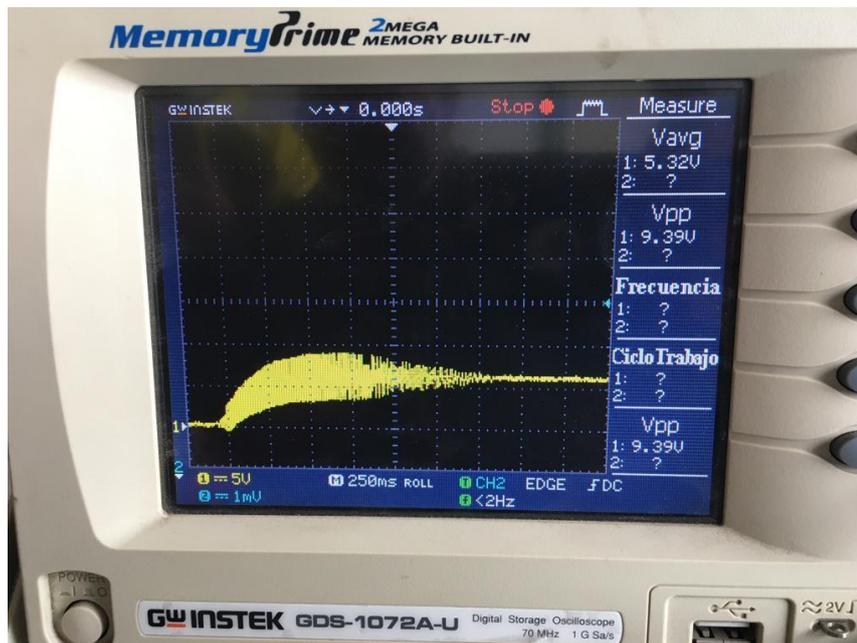
Respuesta del sistema para una masa de 24Kg $V_m=4.28v$



En la figura 55 se observa la respuesta del sistema para una masa de 24kg, utilizando el osciloscopio.

Figura 55

Simulación en osciloscopio para una masa de 24kg

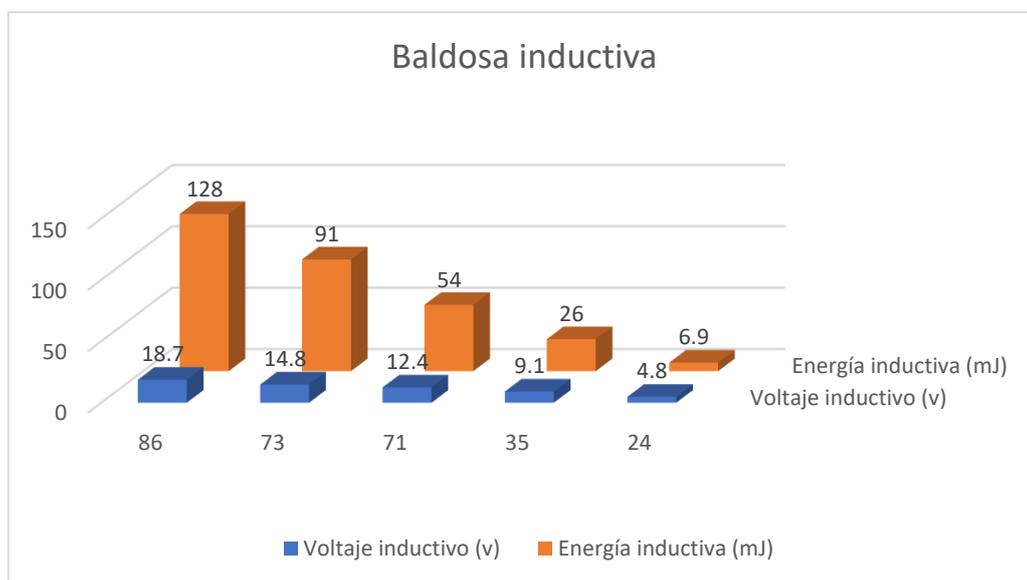


En la tabla 04 se muestran los voltajes y energía de la baldosa inductiva sometida a los diferentes pesos

Tabla 4*Voltaje y energía de la baldosa inductiva*

Masa (kg)	86	73	71	35	24
Voltaje inductivo (v)	18.7	14.8	12.4	9.1	4.8
Energía inductiva (mJ)	128	91	54	26	6.9

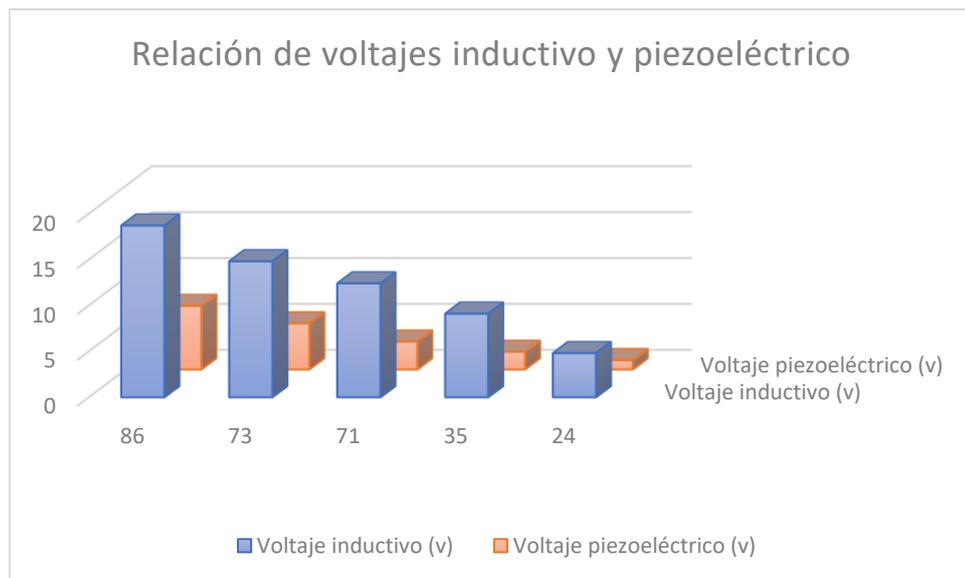
En la figura 56 se muestran los voltajes y energía de la baldosa inductiva para diferentes masas.

Figura 56*Voltaje y energía de la baldosa inductiva para diferentes masas*

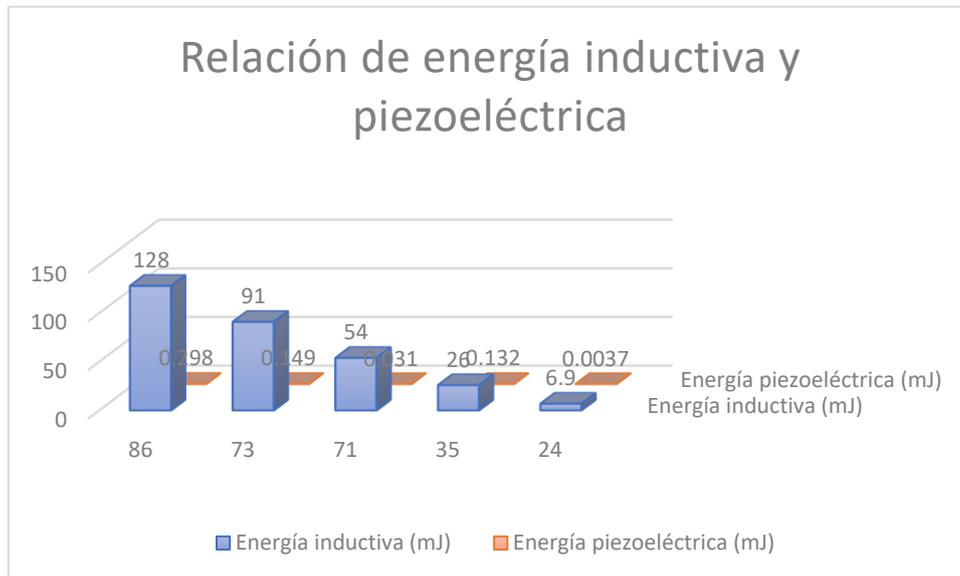
Para realizar el análisis estadístico se obtuvieron las siguientes gráficas.

En la figura 57 se muestra la relación de voltajes de los sistemas inductivo y piezoeléctrico calculado para diferentes masas, donde se aprecia que el mayor voltaje inductivo y piezoeléctrico se da para una masa de 86kg.

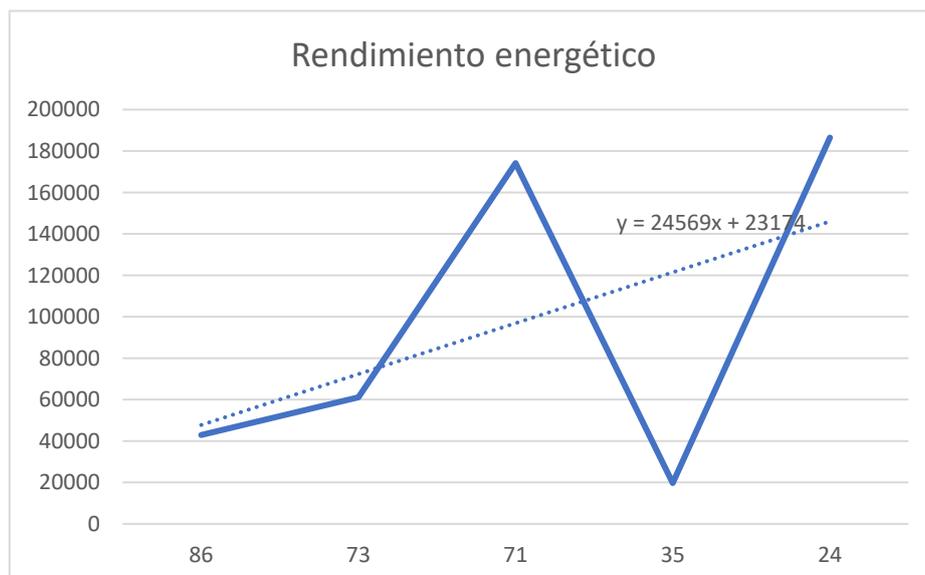
Figura 57:
Relación de voltajes inductivo y piezoeléctrico



En la figura 58 se muestra la relación de la energía de los sistemas inductivo y piezoeléctrico calculado para diferentes masas, donde se aprecia que la mayor energía inductiva se da para una masa de 86kg.

Figura 58*Relación de energía inductiva y piezoeléctrica*

En la figura 59 se muestra el rendimiento energético para diferentes masas, donde se aprecia que el rendimiento energético tiene una relación lineal respecto a cada una de sus masas.

Figura 59*Rendimiento energético*

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados

La característica piezoeléctrica tiene forma exponencial con niveles de amplitud generada de 6.91v para un peso de 86kg y un voltaje de 1.02v para un peso de 24kg. Obteniéndose una energía máxima de 0.298mJ respectivamente. Esto se muestra en la tabla 5.

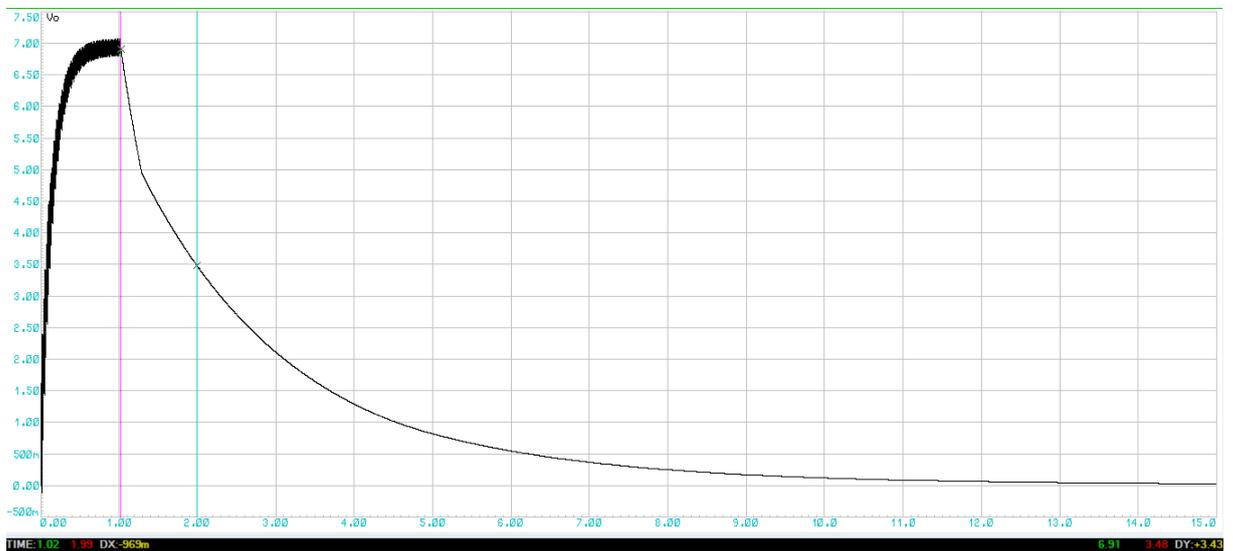
Tabla 5

Voltaje y energía piezoeléctrica para cada masa

Masa (kg)	86	73	71	35	24
Voltaje piezoeléctrico (v)	6.91	5.01	3.02	1.91	1.02
Energía piezoeléctrica (mJ)	0.298	0.149	0.031	0.132	0.0037

Figura 60

Tiempo comprendido desde 0 hasta 1s para 86kg



La característica inductiva tiene forma exponencial con niveles de amplitud generada de 18.7v para un peso de 86kg y un voltaje de 4.8v para un peso de 24kg. Obteniéndose una energía máxima de 128mJ respectivamente. Esto se muestra en la tabla 6

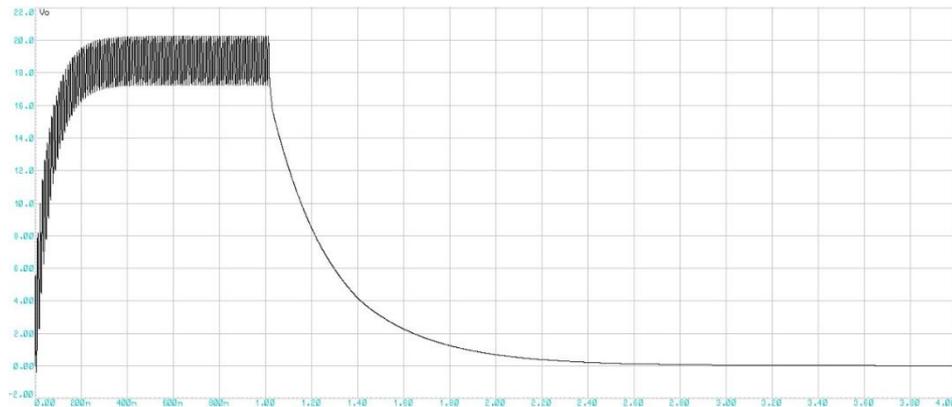
Tabla 6

Voltaje y energía inductiva para cada masa

Masa (kg)	86	73	71	35	24
Voltaje inductivo (v)	18.7	14.8	12.4	9.1	4.8
Energía inductiva (mJ)	128	91	54	26	6.9

Figura 61

Respuesta del sistema para una masa de 86kg $V_m=17.2v$



En rendimiento energético de la baldosa inductiva con respecto a la piezoeléctrica es mayor, independientemente del peso, obteniéndose un máximo rendimiento de 174193.54 para un peso de 71kg. cómo se observa la siguiente tabla 7.

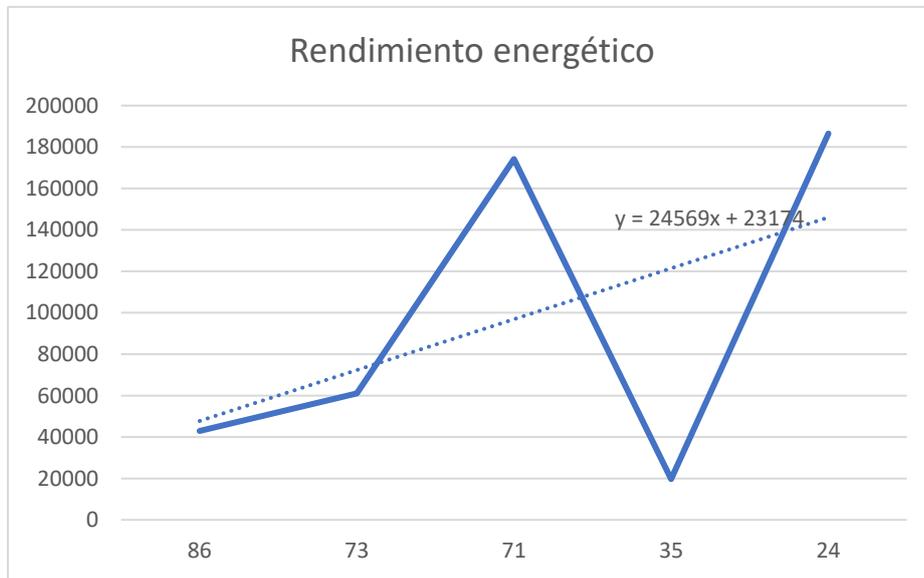
Tabla 7

Rendimiento energético

Masa (kg)	86	73	71	35	24
Voltaje inductivo (v)	18.7	14.8	12.4	9.1	4.8
Energía inductiva (mJ)	128	91	54	26	6.9
Voltaje piezoeléctrico (v)	6.91	5.01	3.02	1.91	1.02
Energía piezoeléctrica (mJ)	0.298	0.149	0.031	0.132	0.0037
Rendimiento energético	42953.0201	61073.8255	174193.548	19696.9697	186486.486

Se observa que el rendimiento energético de la parte inductiva con respecto a la capacitiva será constante y menor a 50000 para pesos mayores 86kg. Por lo que inferimos que la tecnología inductiva genera mayor energía con respecto a la piezoeléctrica.

Figura 62
Rendimiento energético



CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se determinó la característica energética de la tecnología de efecto piezoeléctrico, con niveles de amplitud generada de 6.91v para un peso de 86kg y un voltaje de 1.02v para un peso de 24kg. Obteniéndose una energía máxima de 0.298mJ.
- Se determinó la característica energética de la tecnología de efecto inductivo, con niveles de amplitud generada de 18.7v para un peso de 86kg y un voltaje de 4.8v para un peso de 24kg. Obteniéndose una energía máxima de 128mJ.
- Se determinó el rendimiento de las tecnologías de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo, por lo que inferimos que la tecnología inductiva genera mayor energía con respecto a la piezoeléctrica. Mediante el método estadístico se observa que el rendimiento energético de la parte inductiva con respecto a la capacitiva será constante y menor a 50000 para pesos mayores 86kg.

6.2. Recomendaciones

- Hacer estudios con tecnologías piezoeléctricas de última generación para determinar su eficiencia energética.
- Hacer estudios sobre la parte mecánica donde se alojarán los generadores de energía para aumentar su eficiencia.

CAPÍTULO VII: REFERENCIAS

7.1. Fuentes 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, Villavivencio. <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
- 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.mienergia.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_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 Departament. (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: Matriz de Consistencia

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE EL EFECTO PIEZOELECTRICO Y EFECTO INDUCTIVO EMPERATURA Y	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES	METODOLOGÍA
	<p>PROBLEMA GENERAL ¿Cómo el análisis comparativo de consumo de energía permitirá determinar la eficiencia energética de las tecnologías de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo el estudio de consumo energético permitirá determinar la característica energética de la tecnología de efecto piezoeléctrico? • ¿Cómo el estudio de consumo energético permitirá determinar la característica energética de la tecnología de efecto inductivo? • ¿Cómo el método estadístico permite determinar la eficiencia de las tecnologías de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo? 	<p>OBJETIVO GENERAL Determinar la eficiencia energética de las tecnologías de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo, mediante el análisis comparativo de consumo de energía</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la característica energética de la tecnología de efecto piezoeléctrico, mediante el estudio de consumo energético. • Determinar la característica energética de la tecnología de efecto inductivo, mediante el estudio de consumo energético. • Determinar la eficiencia de las tecnologías de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo, mediante el método estadístico. 	<p>HIPÓTESIS GENERAL El análisis comparativo de consumo de energía permite determinar la eficiencia energética de las tecnologías de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo</p> <p>HIPOTESIS ESPECÍFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mediante el estudio de consumo energético permite determinar la característica energética de la tecnología de efecto piezoeléctrico. • Mediante el estudio de consumo energético permite determinar la característica energética de la tecnología de efecto inductivo. • Mediante el método estadístico permite determinar la eficiencia de las tecnologías de efecto piezoeléctrico y efecto inductivo. 	<p>VARIABLE 1 <i>Efecto piezoeléctrico y efecto inductivo</i></p> <p><i>Dimensión: Selección</i></p> <p><i>Nº de transductores</i> <i>Circuito de adquisición de energía</i></p> <p>VARIABLE 2 <i>Eficiencia energética</i></p> <p><i>Dimensión:</i> <i>Magnitudes</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Potencia • Energía 	<p>Población: Energía alternativa generada mediante el efecto piezoeléctrico y efecto inductivo.</p> <p>Muestra: La muestra por ser pequeña será igual a la población.</p> <p>Tipo de investigación: Descriptiva</p> <p>Nivel de investigación: Aplicada</p> <p>Instrumento: Reporte de diseño Reporte de simulación</p>