UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL NIVEL DE ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA POR BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS EN FUNCIÓN DE SU FORMA GEOMÉTRICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI"

Autor:

Vargas Pilicita Juan Pablo

Tutores:

Freire Andrade Verónica Paulina Ing. Ms.C.

Moreano Martínez Edwin Homero Ing. Ms.C.

Latacunga - Ecuador

Febrero 2020

AVAL DE AUTORÍA

Yo Juan Pablo Vargas Pilicita declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL NIVEL DE ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA POR BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS EN FUNCIÓN DE SU FORMA GEOMÉTRICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI"**, siendo la Ing. Ms.C. Freire Andrade Verónica Paulina tutora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Juan Pablo Vargas Pilicita
C.C.:172317045-0

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: "Análisis comparativo del nivel de energía eléctrica producida por baldosas piezoeléctricas en función de su forma geométrica en la Universidad Técnica de Cotopaxi", de Vargas Pilicita Juan Pablo, de la carrera Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 10 de febrero, 2020

.....

El tutor

Freire Andrade Verónica Paulina Ing. Ms.C.

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante: Juan Pablo Vargas Pilicita con el título de Proyecto de titulación: "Análisis comparativo del nivel de energía eléctrica producida por baldosas piezoeléctricas en función de su forma geométrica en la Universidad Técnica de Cotopaxi", han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)
Nombre: Cruz Panchi Luis Rolando
CC: 0502595176

Lector 2
Nombre: Freire Martínez Luigi Orlando
CC: 0502529589

Lector 3
Nombre: Gallo Castillo Tannya Lucia
CC: 1804154233

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios que me ha dado a unos Padres espectaculares los cuales me han inculcado valores fundamentales en mi formación académica para ser un profesional, también agradezco a mis abuelitos, a mi novia (Sonia), a mis amigos (Andrés y Ángel), a mis hermanas y a cada uno de mis familiares, quienes me apoyaron moralmente y económicamente. Y un agradecimiento muy especial a la Ingeniera Paulina Freire quien me supo guiar en este camino de ser profesional.

Juan V.

DEDICATORIA

Esta Tesis va dedicada a mis Padres Inés y Álvaro, a mis hermanas Ingrid y Katlen, a mis Abuelitos Lucila y Ramón, que a pesar de todo siempre han estado velando por mi bienestar, y en especial a mi Abuelita Teresa de Jesús, Carlos, Blanca y Danny quien en su momento me brindaron de sabiduría y felicidad, pero ahora me dan ánimos y me cuidan desde el cielo para seguir adelante.

Juan V.

ÍNDICE

AVAL DE AUTORÍA ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN iii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN iv
AGRADECIMIENTO v
DEDICATORIA vi
ÍNDICE vii
ÍNDICE DE FIGURAS x
ÍNDICE DE GRAFICAS xi
ÍNDICE DE TABLA xi
ÍNDICE DE ANEXOS xiii
RESUMEN xvi
ABSTRAC xvii
AVAL DE TRADUCCIÓN xviii
1.- INFORMACIÓN GENERAL 1
2.- RESUMEN DEL PROYECTO 2
3.- JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 2
4.- BENEFICIARIOS: 3
Beneficiarios directos: 3
Beneficiarios indirectos: 3
5.- EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN 3
6.- OBJETIVOS 3
Objetivo General 3
Objetivos Específicos 3
Objeto y campo de acción 4
7.- SISTEMAS DE TAREAS POR OBJETIVOS 4
8.- FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA 5
Antecedentes 5
Marco de la investigación 7
Referencias bibliográficas 7
Energías renovables 7
Fenómeno de la piezoelectricidad 7
Definición del efecto Piezoeléctrico 8

Materiales Piezoeléctricos 9
Cuarzo 10
Piezoeléctricos 10
Ventajas e inconvenientes de utilizar el elemento piezoeléctrico 10
Ventajas: 10
Inconvenientes: 11
Teoría de Newton aplicada en el piezoeléctrico 11
Batería LGDAS 31865 12
Arduino y módulo KY 0138 13
9.- HIPÓTESIS 14
Causa – Efecto 14
Matriz de Variables 15
10.- METODOLOGÍAS 15
Tipo de investigación 15
De campo 15
Bibliografía 16
Métodos 16
Científico 16
Técnicas 16
Medición 16
Cálculo 16
Simulación 17
Instrumentos 17
Balanza 17
Multímetro 17
Software para la simulación 17
Diseño experimental de generación de los elementos piezoeléctricos 17
Proceso Experimental 18
Medición de niveles de tensión promedio, generada por el piezoeléctrico AB2720B. 18
Pruebas realizadas al piezoeléctrico 18
Tamaño de los piezoeléctricos para este proyecto: 18
Instrumento de medición 19
Mediciones del piezoeléctrico 19
Determinación de la forma geométrica en la Universidad Técnica de Cotopaxi. 21

Software de simulación para la determinación del área de deformación generada por líneas de fuerza de una pisada estándar. 23
El tamaño de la muestra 23
Diseño del tipo de baldosa piezoeléctrica de acuerdo a su forma geométrica seleccionada 26
Baldosa comercial a usar 26
Zona del Pie 27
Características generales de la marcha 28
La determinación del número de los piezoeléctricos por pisada estándar y por área de las baldosas cuadrada y rectangular. 29
Cantidad y distribución de los piezoeléctricos 29
Establecer la distancia de separación de entre los piezoeléctricos en las baldosas cuadrada y rectangular 30
Cálculos para la forma cuadrada 31
Cálculos para la forma rectangular 31
Diseño de baldosas piezoeléctricas 31
Diseño experimental de las diferentes posibilidades de pisada estándar en las baldosas cuadrada y rectangular. 32
Análisis de resultados de la simulación mecánica y eléctrica del sistema ante la entrada del paso de una persona 32
Datos promedios obtenidos de la simulación en función del tiempo(s), para una baldosa cuadrada y rectangular 34
Medición de los niveles de Tensión, en conexiones serie, paralelo y mixto de cada una de las posibilidades de pisada estándar en baldosas cuadrada y rectangular. 36
Tipo de conexión 36
Conexión serie del piezoeléctrico 36
Conexión paralelo del piezoeléctrico 36
Medición de la intensidad de corriente, potencia y energía en los diferentes tipos de conexiones en baldosas cuadrada y rectangular 40
Pruebas de corriente al piso generador de energía eléctrica 40
Simulación de los niveles de tensión promedio, en conexiones serie, paralelo y mixto de cada una de las posibilidades de pisada estándar en baldosas cuadrada y rectangular. 41
Tipo de lenguaje de comunicación 41
Comparación de los niveles de tensión, intensidad de corriente, de las conexiones, serie, paralelo y mixto en baldosas cuadrada y rectangular. 43

Diseño del sistema electrónico para transmitir y almacenar la energía generada por el piezoeléctrico 43
Circuito para transmitir la energía generada por el piezoeléctrico y almacenamiento 44
11.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS 45
Análisis y comprobación de la hipótesis 46
12.- IMPACTOS DE LA INVESTIGACIÓN 49
Impacto técnico 49
Impacto ambiental 49
Impacto social 49
Impacto económico 49
13.- PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÒN DEL PROYECTO 49
14.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 51
Conclusiones 51
Recomendaciones 52
15.- BIBLIOGRAFÍA 52
16.- ANEXOS: 55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sin tensión mecánica y Tensión mecánica aplicada. 8
Figura 2.- *Sin tensión mecánica.* 8
Figura 3.- El cuarzo y su comportamiento en el estado de estiramiento. 9
Figura 4.- El cuarzo sometido a una tensión mecánica (Z). 9
Figura 5.- Sin esfuerzo mecánico, Sometido a un esfuerzo mecánico. 10
Figura 6.- Voltaje de salida del piezoeléctrico en el experimento bajo carga cuasi- estática. 12
Figura 7.- Voltaje de salida del piezoeléctrico en el experimento bajo carga dinámica. 12
Figura 8.- Batería LGDAS 31865 de LITIO – ION. 13
Figura 9.- Especificaciones generales del Arduino y Modulo KY0138. 14
Figura 10.- Elemento piezoeléctrico, 27mm (AB2720B). 18
Figura 11.- Voltaje de un piezoeléctrico sometido a una presión. 20
Figura 12.- Vista panorámica del osciloscopio INSTEK (GDS-2104). conectado al piezoeléctrico 20
Figura 13.- Voltaje de un piezoeléctrico sometido a una presión– tensión de 1.28 V, 238msg. 20

Figura 14.- Voltaje de un piezoeléctrico sometido a una presión– tensión de 1.36 V, 277msg. 20
Figura 15.- Voltaje de un piezoeléctrico sometido a una presión– tensión de 2,40 V, 500msg. 21
Figura 16.- Voltaje de un piezoeléctrico sometido a una presión– tensión de 2,48 V, 250msg. 21
Figura 17.- Campo de estudio (Unidad Técnica de Cotopaxi). 21
Figura 18.- Zonas principales de la planta del pie. 27
Figura 19.- Simulación y distribución de fuerzas en la baldosa. 29
Figura 20.- Diseño de la baldosa piezoeléctrica, forma geométrica cuadrada, con distribución de 9 dispositivos piezoeléctricos. 31
Figura 21.- Diseño de la baldosa piezoeléctrica, forma geométrica rectangular, con distribución de 9 dispositivos piezoeléctricos. 31
Figura 22.- Esquema de un sistema piezoeléctrico – serie. 36
Figura 23.- Esquema de un sistema piezoeléctrico – paralelo. 37
Figura 24.- Principio de generación del material piezoeléctrico. 44
Figura 25.- Circuito de generación electrónica para almacenamiento de los elementos piezoeléctricos. 45

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1.- Porcentaje del tipo de baldosas existentes en la Universidad Técnica de Cotopaxi. 22
Gráfica 2.- Toma de datos de personas de sexo masculino del Club de Robótica de la UTC. 25

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Tarea por objetivo. 4
Tabla 2.- Principales Características del condensador. 13
Tabla 3.- Especificaciones generales del Arduino y Modulo KY0138. 14
Tabla 4.- Causa – Efecto. 15
Tabla 5.- Variable de entrada y variable de salida. 15
Tabla 6.- Especificaciones generales del piezoeléctrico. 19
Tabla 7.- Porcentaje y cantidad del tipo de baldosas existentes en la Universidad Técnica de Cotopaxi. 23
Tabla 8.- Toma de datos de personas de 6 personas (Miembros) del Club de Robótica de la UTC. 25

Tabla 9.- Cálculo de la fuerza con respecto a la masa de una persona. 26
Tabla 10.- Baldosa cuadrada de 30x30cm, Baldosa rectangular, 30x60 cm. 27
Tabla 11.- Características generales de la marcha. 28
Tabla 12.- Vista isométrica de nuestra superficie total generado por el pie del ser humano, con un peso de 402,04(N). 30
Tabla 13.- Especificaciones generales de las baldosas piezoeléctricas, forma geométrica (cuadrada, rectangular). 32
Tabla 14.- Diversas formas de la zancada por el pie del ser humano. 33
Tabla 15.- Datos obtenidos de la simulación con una fuerza constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada y rectangular, presionando 2 piezoeléctricos: en la zona dedos y metatarso del pie. 33
Tabla 16.- Datos obtenidos de la simulación con una fuerza constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada y rectangular, presionando 3 piezoeléctricos: dedos, metatarso, media y talón. 34
Tabla 17.- Datos obtenidos de la simulación con una fuerza constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada y rectangular, presionando 1 piezoeléctrico, talón del pie. 34
Tabla 18.- Valores promedio simulados en baldosas cuadrada y rectangular, al pisar 2 piezoeléctricos: dedos y metatarso del pie. 35
Tabla 19.- Valores promedio simulados en baldosas cuadrada y rectangular, al pisar 3 piezoeléctricos: dedos, metatarso, media y talón del pie. 35
Tabla 20.- Valores promedio simulados en baldosas cuadrada y rectangular, al pisar 1 piezoeléctricos: talón del pie. 35
Tabla 21.- Valores promedios de las tablas 15, 16, 17. 35
Tabla 22.- Datos obtenidos de la simulación con una fuerza constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada y rectangular, presionando 2 piezoeléctricos: en la zona dedos y metatarso del pie. 37
Tabla 23.- Datos obtenidos de la simulación con una fuerza constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada y rectangular, presionando 3 piezoeléctricos: dedos, metatarso, media y talón. 38
Tabla 24.- Datos obtenidos de la simulación con una fuerza constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada y rectangular, presionando 1 piezoeléctrico, talón del pie. 38
Tabla 25.- Valores promedio simulados en baldosas cuadrada y rectangular, al pisar 2 piezoeléctricos: dedos y metatarso del pie. 39

Tabla 26.- Valores promedio simulados en baldosas cuadrada y rectangular, al pisar 3 piezoeléctricos: dedos, metatarso, media y talón del pie. 39
Tabla 27.- Valores promedio simulados en baldosas cuadrada y rectangular, al pisar 1 piezoeléctricos: talón del pie. 39
Tabla 28.- Valores promedios de las tablas 22, 23, 24. 39
Tabla 29.- Nivel de intensidad de corriente medida en conexión en paralelo para la baldosa cuadrada. 40
Tabla 30.- Nivel de intensidad de corriente medida en conexión en paralelo para la baldosa rectangular. 41
Tabla 31.- Valores promedios de las tablas 29 y 30. 41
Tabla 32.- Nivel de comparación de los valores totales obtenidos de la tensión generada, en la baldosa cuadrada y rectangular. 43
Tabla 33.- Nivel de comparación de los valores totales obtenidos de intensidad de corriente generada, en la baldosa cuadrada y rectangular. 43
Tabla 34.- Resultados de niveles de voltaje generado en la forma geométrica cuadrada. 46
Tabla 35.- Resultados de niveles de voltaje generado en la forma geométrica rectangular. 46
Tabla 36.- Niveles de voltaje (Tensión promedio), Intensidad de corriente y Potencia Eléctrica calculada. 47
Tabla 37.- Presupuesto para la elaboración. 49

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Pisada con 3 dispositivos piezoeléctricos, vista isométrica real y simulada de la zona del pie (dedos-metatarso), Baldosa cuadrada. 55
Anexo 2. Pisada con 2 dispositivos piezoeléctricos, vista isométrica real y simulada de la zona del pie (talón y metatarso), Baldosa cuadrada. 55
Anexo 3. Pisada con 3 dispositivos piezoeléctricos, vista isométrica real y simulada de la zona del pie (talón, metatarso, media y punta de los dedos), Baldosa cuadrada. 55
Anexo 4. Pisada con 3 dispositivos piezoeléctricos, vista isométrica real y simulada de la zona del pie (dedos-metatarso), Rectangular. 56
Anexo 5. Pisada con 3 dispositivos piezoeléctricos, vista isométrica real y simulada de la zona del pie (talón, metatarso, media y punta de los dedos), Rectangular. 56
Anexo 6. Pisada con 3 dispositivos piezoeléctricos, vista isométrica real y simulada de la zona del pie (talón, media y metatarso), Rectangular. 56
Anexo 7. Sistema de simulación en las baldosas piezoeléctricas. 57

Anexo 8. Niveles de voltaje en una baldosa cuadrada conexión en serie, aplicada a la baldosa cuadrada con un peso de 402,07 (N) por pisada. 57
Anexo 9. Niveles de voltaje en una baldosa cuadrada conexión en paralelo, aplicada a la baldosa cuadrada con un peso de 402,07 (N) por pisada. 58
Anexo 10. Niveles de voltaje en una baldosa cuadrada conexión en mixta, aplicada a la baldosa cuadrada con un peso de 402,07 (N) por pisada. 58
Anexo 11. Niveles de voltaje en una baldosa cuadrada conexión en serie, aplicada a la baldosa rectangular con un peso de 402,07 (N) por pisada. 59
Anexo 12. Niveles de voltaje en una baldosa cuadrada conexión en paralelo, aplicada a la baldosa rectangular con un peso de 402,07 (N) por pisada. 59
Anexo 13. Niveles de voltaje en una baldosa cuadrada conexión en mixta, aplicada a la baldosa rectangular con un peso de 402,07 (N) por pisada. 60
Anexo 14. Diferencia de curva de respuesta de la baldosa piezoeléctrica cuadrada y rectangular, con conexión en serie en función de su tiempo en (ms). 60
Anexo 15. Diferencia de curva de respuesta de la baldosa piezoeléctrica cuadrada y rectangular, con conexión en paralelo en función de su tiempo en (ms). 61
Anexo 16. Diferencia de curva de respuesta de la baldosa piezoeléctrica cuadrada y rectangular, con conexión en mixta en función de su tiempo en (ms). 61
Anexo 17.-Estudio de campo para la investigación de las baldosas piezoeléctricas. 62
Anexo 18.- Resultado del análisis de la energía proporcionada por la baldosa piezoeléctrica cuadrada, acumulada en el dispositivo acumulador con una lámpara led. 62
Anexo 19. Programación del sistema para compilación del sistema Arduino 18.3. 63
Anexo 20. Simulación de datos obtenidos de la tabla 15 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 1 piezoeléctricos, en la zona dedos y metatarso del pie. 64
Anexo 21. Simulación de datos obtenidos de la tabla 16 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 1 piezoeléctricos, en la zona de los dedos, media y metatarso, talón del pie. 64
Anexo 22. Simulación de datos obtenidos de la tabla 17 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 1 piezoeléctricos, en la zona del talón y metatarso del pie. 65
Anexo 23. Simulación de datos obtenidos de la tabla 18 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 3 piezoeléctricos, en la zona de los dedos, media y metatarso, talón del pie. 65

Anexo 24. Simulación de datos obtenidos de la tabla 19 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 3 piezoeléctricos, en la zona de los dedos, media y metatarso, talón del pie. 66
Anexo 25. Simulación de datos obtenidos de la tabla 20 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 1 piezoeléctricos, en la zona del talón y metatarso del pie..... 66
Anexo 26. Simulación de datos obtenidos de la tabla 21 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 1 piezoeléctricos, en la zona del talón y metatarso del pie..... 67
Anexo 27. Simulación de datos obtenidos de la tabla 22 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 3 piezoeléctricos, en la zona de los dedos, media y metatarso, talón del pie. 67
Anexo 28. Simulación de datos obtenidos de la tabla 10.8 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 2 piezoeléctricos, en la zona dedos y metatarso del pie. 68
Anexo 29. Simulación de datos obtenidos de la tabla 10.8 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 2 piezoeléctricos, en la zona dedos y metatarso del pie. 68
Anexo 30.-Simulación de datos obtenidos de la tabla 10.8 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 2 piezoeléctricos, en la zona dedos y metatarso del pie. 69
Anexo 29.- Planos 70

Universidad Técnica de Cotopaxi

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

Título: "Análisis comparativo del nivel de energía eléctrica producida por baldosas piezoeléctricas en función de su forma geométrica en la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI"

Autor:

Vargas Pilicita Juan Pablo

RESUMEN

El presente proyecto de investigación esta direccionado a recopilar información técnica, características y de funcionamiento del sensor piezoeléctrico para aplicarlas como fuentes de energía en relación a las fuentes tradicionales de generación eléctrica, las cuales representan grandes focos de contaminación ambiental y a su vez se encuentran en un punto de agotamiento irreversible. El aprovechamiento de diferentes tipos de energía, en este caso el efecto piezoeléctrico cuando es sometido a una deformación genera un campo eléctrico, de tal manera conlleva a realizar un proyecto cual permita aplicar nuevos métodos de generación de energía eléctrica. El diseño de un prototipo generador de electricidad, el cual aproveche el concurrir del peatón de la Universidad Técnica de Cotopaxi, contribuirá con una nueva metodología para la obtención de electricidad aprovechando la acción mecánica que puede generar una persona sin contaminación. El proyecto se enfoca en la comparación del nivel de energía producida por baldosas piezoeléctricas, para determinar el rendimiento del sistema y la eficiencia resultante para obtener energía limpia. Se realizó pruebas de simulación que corresponde a la fuerza que genera una persona mediante la pisada y así establecer puntos en común: área de la pisada, diámetro de las dos baldosas piezoeléctricas, que conjugadas aportan a la generación de energía eléctrica. El proyecto de investigación se plantea aplicarlo en el Club de Robótica de la misma Institución, donde potencia eléctrica generada sea utilizada para alimentar a dispositivos de bajo consumo y abriendo nuevas posibilidades de investigación para futuras aplicaciones, ensayos y estudios de caso.

Palabras clave: sensor piezoeléctrico, deformación, ensayos, simulación, forma geométrica.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

THEME: "Comparative analysis of the electrical energy level produced by piezoelectric tiles based on its geometric form in the TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI"

Author:

Vargas Pilicita Juan Pablo

ABSTRAC

This research project has as objective to collect technical information, characteristics and operation of the piezoelectric sensor to apply them as energy sources in relation to traditional sources of electricity generation, which represent large sources of environmental pollution those are in an irreversible point of exhaustion. The use of different types of energy, in this case piezoelectric effect that subjected to a deformation generates an electric field, thereby leading to a project that allows to apply new methods to generate electricity. The design of a prototype electricity generator, which takes advantage of the concurrence of the pedestrian at Technical University of Cotopaxi, will contribute with a new methodology to get electricity taking advantage of the mechanical action that a person generates, without pollution. The project focuses on the comparison of the energy level produced by piezo tiles, to determine the system performance and the resulting efficiency to obtain clean energy. Simulation tests were carried out that correspond to the force generated by a person through the tread and thus establish common points: area of the tread, diameter of piezoelectric tiles, which contribute to electrical energy generation. With this research project, it is proposed to be applied in the Robotics Club of the same Institution, where all this generated electrical power is used to power low-consumption devices, but this will depend how the research can be used to have relevance.

Keywords: piezoelectric sensor, deformation, tests, designs, equations, geometric shape.

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del PROYECTO DE INVESTIGACIÓN al Idioma Inglés presentado por el señor: Vargas Pilicita Juan Pablo, egresado de la **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS,** cuyo título versa "**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL NIVEL DE ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA POR BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS EN FUNCIÓN DE SU FORMA GEOMÉTRICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**", lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

ATENTAMENTE

Licdo. Edison Marcelo Pacheco Pruna
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C.: 050261735-0

CENTRO DE IDIOMAS

1.- INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:

Análisis comparativo del nivel de energía eléctrica producida por baldosas piezoeléctricas en función de su forma geométrica, en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Fecha de inicio:

Octubre del 2019.

Fecha de finalización:

Febrero del 2020.

Lugar de ejecución:

Universidad Técnica de Cotopaxi.

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

Carrera que auspicia:

Ingeniería Electromecánica.

Proyecto de investigación vinculado:

Energías Renovables.

Equipo de trabajo:

Tutor: Verónica Paulina Freire Andrade Ing. Ms.C.

Estudiante: Vargas Pilicita Juan Pablo.

Telf.: 0998884654.

Correo: juan.vargas0@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

Termodinámica, Resistencia de Materiales, Diseño de Elementos de Máquina, Circuitos Eléctricos, Energías Renovables.

Línea de investigación:

Línea 5.- Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Eficiencia energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

2.- RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto esta direccionado a recopilar información técnica, característica y de funcionamiento del sensor piezoeléctrico para aplicarlas como fuentes generadoras de energía, en relación de las fuentes tradicionales de generación eléctrica, las cuales en la actualidad representan grandes focos de contaminación ambiental y a su vez se encuentran en un punto de agotamiento irreversible. El desaprovechamiento de diferentes tipos de energía, en este caso el efecto piezoeléctrico cuando es sometido a una deformación genera un campo eléctrico, de tal manera conlleva a realizar un proyecto de investigación en cual permita aplicar nuevos métodos de generación de energía eléctrica aprovechando posibles elementos de generación.

El diseño e implementación de un prototipo generador de electricidad, el cual aproveche el concurrir del peatón de la Universidad Técnica de Cotopaxi, podrá contribuir una nueva metodología para la obtención de electricidad aprovechando la acción mecánica que puede entregar una persona sin generar contaminación.

La construcción del proyecto se enfoca a la comparación del nivel energía producida por baldosas piezoeléctricas, este estudio comparativo permitirá determinar el rendimiento de nuestro sistema de generación eléctrica, y la eficiencia resultante representara la factibilidad de esta aplicación, para obtener energía limpia y poder utilizarla como sea conveniente.

Palabras clave: sensor piezoeléctrico, deformación, ensayos, diseños, ecuaciones, forma geométrica.

3.- JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

De acuerdo a la gran demanda de energía eléctrica en el País y por la contaminación existente en la misma, nace la iniciativa de realizar un estudio comparativo de la eficiencia energética de las baldosas piezoeléctricas. El proyecto a desarrollarse conlleva a la generación de energías renovables y limpias, aprovechando la concurrencia de la gente en los predios del Club de Robótica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para la producción de energía eléctrica, este va hacer de mucha utilidad para aportar en el ámbito de la generación eléctrica partiendo del estudio comparativo de nivel de energía eléctrica y serán de vital importancia para posteriores estudios. En el país existen diferentes formas de generar energía eléctrica y de manera muy amigable con el ambiente, utilizando fuentes de energía renovables existentes en el medio. Sin embargo, la energía producida por la concurrencia de personas en lugares públicos ha sido motivo de estudio para algunos autores, debido a que existen equipos que requieren de ciertos

parámetros para su correcto funcionamiento y además de sus costos elevados, es por ello los piezoeléctricos son elementos de fácil acceso y también poseen un bajo costo de adquisición.

4.- BENEFICIARIOS:

Beneficiarios directos: 1 Postulante (Investigador), Universidad Técnica de Cotopaxi, Miembros del "Club de Robótica UTC" (40) - Ciudad Latacunga - Sector San Felipe - La Matriz.

Beneficiarios indirectos: Personas que visitan el lugar de estudio entre estudiantes, docentes, autoridades, personas externas al (Club de Robótica), existe un número estimado de 1000 personas anualmente.

5.- EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

¿Cómo con el uso de baldosas a las que se han incorporado dispositivos piezoeléctricos se puede generar energía eléctrica para alimentación de cargas de bajo consumo, en la Universidad Técnica de Cotopaxi?

6.- OBJETIVOS

El cumplimiento de este trabajo de investigación tiene el valor de establecer el alcance del mismo a través de los siguientes objetivos que se distinguirán a través de:

Objetivo General

Realizar un estudio comparativo de la generación de energía eléctrica producida por dispositivos piezoeléctricos instalados en baldosas de diferentes formas geométricas, para la alimentación de dispositivos de bajo consumo en el Club de Robótica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Objetivos Específicos

a) Recopilar información sobre el funcionamiento de dispositivos piezoeléctricos, que permitan la generación de energía eléctrica para alimentar a cargas de bajo consumo.
b) Determinar qué tipo forma geométrica es más utilizadas en el campo de estudio.
c) Diseñar un prototipo generador de electricidad, mediante el uso de baldosas con dispositivos que permitan alimentar cargas de bajo consumo en el Club de Robótica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.
d) Evaluar el prototipo mediante mediciones de tensión e intensidades de corriente para la generación de electricidad que permita el consumo de baja potencia.

Objeto y campo de acción

Objeto: Generación Piezoeléctrica.

Campo de acción: Evaluación geométrica en elementos piezoeléctricos.

7.- SISTEMAS DE TAREAS POR OBJETIVOS

La tabla 1 representa los objetivos específicos, como trabajo a realizar, se cumple varias tareas mediantes lineamientos a seguir, con el fin de alcanzar la finalización de este proyecto.

Tabla 1. Tarea por objetivo.

Objetivos	Actividad (tareas)	Resultado de la actividad	Medios de Verificación
Recopilar información sobre el funcionamiento de baldosas piezoeléctricas mediante datos bibliográficos para la realización del proyecto.	Recopilación de información técnica de los elementos piezoeléctricos.	Desarrollo de la documentación técnica de los elementos piezoeléctricos.	PUI Audio.inc (a projets unlimites company).Hoja de datos AB2720B.
Determinar qué tipo forma geométrica es más utilizadas en el mercado, de tal forma que aporte a la construcción del prototipo.	Recolección de información en artículos, revistas científicas, y sitios web.	Se ha identificado las características que poseen los elementos a utilizar.	Hoja de datos de los componentes electrónicos AB2720B, 27mm piezoelectric Bender.
Realizar un prototipo generador de electricidad para el análisis comparativo en el Club de Robótica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	Recolección de información técnica de los elementos para determinar el nivel de voltaje y corriente estos producen.	Análisis de eficiencia del sistema de generación.	Procesos experimentales mediante la instrumentación adecuada.
Evaluar el prototipo mediante mediciones de tensión e intensidades de corriente para la generación de electricidad que permita el consumo de baja potencia.	Recolección de datos mediante softwares que permitan identificar los diferentes niveles de tensión.	Selección de softwares en base a los requerimientos.	Mediciones con softwares adecuados.

Elaborado por: El Autor.

8.- FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

Antecedentes

El uso de elementos piezoeléctricos se encuentra presente en el desarrollo de nuevas fuentes de generación eléctrica. Considerando a los piezoeléctricos como un elemento importante en el sistema alterno de generación eléctrica, mismo funciona gracias a la presión ejercida al caminar sobre una superficie constituida por estos materiales, la energía eléctrica producto de este proceso es almacenada y posteriormente utilizada para alimentar cargas que así lo requieran (Angulo, 2017).

Actualmente a nivel mundial existen diversos países destacados que desarrollan diferentes proyectos que evalúan la producción de energías sostenibles.
En España los materiales piezoeléctricos han sido embebidos en materiales compuestos en aplicaciones como la amortiguación de vibraciones o la detección de impactos (como en los airbags, donde el material detecta la intensidad del choque y envía una señal eléctrica que activa el airbag). (Gonzalez Diaz, 2017).

Nivel de Latinoamericano en Colombia se realizó la implementación de sistemas piezoeléctricos en las vías, con lo cual se busca proteger el medio ambiente, conservando los recursos renovables como también los existentes y de esta manera mejorar la calidad de vida de los habitantes (Cardozo Gutiérrez & Tamayo Zapata, 2016).

En Ecuador se han realizado diferentes estudios en las siguientes universidades:

En la Universidad de Azuay se realizó una investigación con el Títulos “Estudio de factibilidad para la construcción de un banco de pruebas para inyectores del sistema Common Rail Bosch”, donde se manifiesta que los inyectores de control piezoeléctrico tiene una velocidad de conmutación hasta cinco veces superior a los inyectores de control electromagnético, por lo tanto, se puede dosificar con precisión la cantidad de inyección, produciéndose menos contaminantes en la combustión. (Gómez Ullauri, 2012)

En la Universidad Politécnica Salesiana; también se realizó un estudio sobre “La Piezoelectricidad y Ferroelectricidad en Biomateriales”, en esta investigación se manifiesta que los materiales ferroeléctricos constituyen una subclase dentro de los materiales piezoeléctricos, es decir; son materiales que experimentan una deformación mecánica cuando se les aplica un voltaje, o que por el contrario se cargan eléctricamente cuando son deformados. Estas

propiedades son indispensables para su aplicación en numerosos dispositivos electrónicos como sensores, detectores infrarrojos, filtros de microondas y, recientemente, memorias no volátiles, por nombrar solo algunas. (Heredia & Bdikin, 2012).

En la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) se realizó la "Investigación del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores piezoeléctricos Bosch del sistema de inyección CRDI (common rail diesel injection) de los vehículos Volkswagen amaro 2.0 y land rover freelander ii 2.2", dicho tema hace referencia al análisis de los inyectores piezoeléctricos Bosch, con la finalidad de generar un registro confiable del comportamiento electrónico y mecánico de dichos inyectores, características y valores ideales de funcionamiento (Bustillos Chicaiza & Simbaña Quinsasamín, 2017).

En la Universidad Internacional del Ecuador se realizó el "Análisis y comprobación del funcionamiento de inyectores crdi piezoeléctricos con el equipo crt-3500 de KIA", el objetivo de esta investigación es aportar con una herramienta que facilita el diagnóstico de estos sistemas de una manera mucho más sencilla y rápida. Fundamentando de una manera completamente técnica y metodológica el diagnóstico en inyectores Piezoeléctricos del sistema CRDI utilizando la herramienta CRT-3500 de Kia (Ayora Rivera, 2017).

En la Universidad Técnica Particular de Loja se realizó el "Análisis de la operación y desempeño de un sistema de generación de energía con la utilización de baldosas piezoeléctricas", en la presente investigación el análisis y desempeño del sistema de generación mediante la cinesiología de la marcha humana y el principio de harvesting de energía a través de una baldosa piezoeléctrica (Merino Alvarado, 2013).

En la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil se realizó el "Diseño sostenible para la eficiencia energética de iluminación utilizando efecto piezoeléctrico en los bloques", el enfoque de esta investigación fue cuali cuantitativo que mediante métodos y técnicas podrá obtener mejores resultados por medio de un previo análisis dirigido a un diseño sostenible para la eficiencia energética de iluminación utilizando efecto piezoeléctrico (Chila Pacheco, 2019).

Aprovecha la acción de una fuerza externa que al ser sometida esta genera un campo eléctrico para utilizarlo en un prototipo generador de electricidad aplicando nuevos métodos de generación eléctrica; estableciendo los fundamentos teóricos relacionados a las condiciones de

funcionamiento de los elementos piezoeléctricos, para determinar su eficiencia en diferentes conexiones sometidas a diferentes formas geométricas (Angulo, 2017).

Marco de la investigación

Las energías renovables son recursos abundantes y limpios que no producen gases de efecto invernadero (CO_2), algo contrario a lo que ocurre con las energías convencionales o no renovables como son los combustibles fósiles. Una de sus principales desventajas, es que la producción de algunas energías es intermitente ya que depende de las condiciones climáticas del sector.

Los elementos piezoeléctricos son dispositivos electrónicos semiconductores los cuales permiten la obtención de energía eléctrica por medio del accionar de un movimiento, al existir una tensión mecánica, existen una diferencia de potencial, la cual puede aprovechar cuando este en contacto peatón y medio ambiente. Lo cual nos permite conocer sus características, funcionamiento, constitución interna y forma de generación, es de mucha importancia para determinar la eficiencia de estos dispositivos en situaciones ambientales de cambios constantes y en periodos determinados (Gonzalez Diaz, 2017).

Referencias bibliográficas

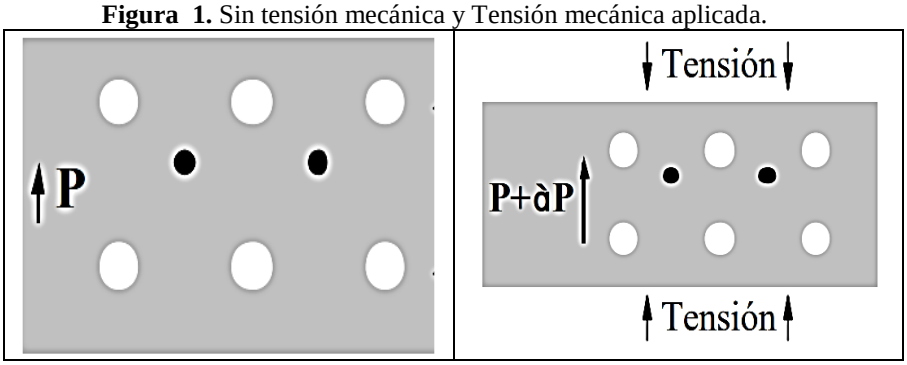
Energías renovables

Las energías limpias son consideradas energías renovables, sin embargo no solo las energías renovables son limpias, sino que también existe la energía humana que son consideradas dentro de la clasificación de energía limpia (Merino Alvarado, 2013).

Fenómeno de la piezoelectricidad

En el fenómeno de la piezoelectricidad, al aplicar una tensión mecánica (Z) cambia la polarización eléctrica del material generándose un campo eléctrico (aparición de cargas en las superficies del material). Tal y como se muestra en la Figura 1, sin aplicar una tensión mecánica (Z), la tensión mecánica cambia el centro de gravedad de cargas negativas y positivas produciendo un cambio en el momento dipolar.

Figura 1. Sin tensión mecánica y Tensión mecánica aplicada.



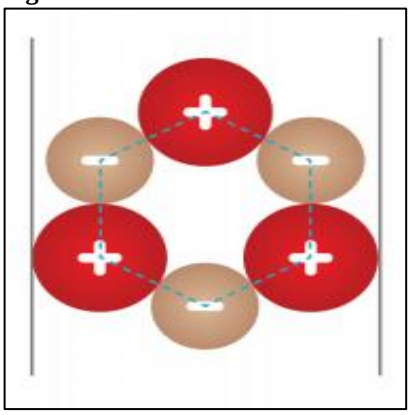
Fuente: (Merino Alvarado, 2013).

Definición del efecto Piezoeléctrico

Los materiales piezoeléctricos pueden convertir la tensión mecánica en electricidad, y la electricidad en vibraciones mecánicas. El cuarzo es un ejemplo de un cristal piezoeléctrico natural. Los cristales de cuarzo están hechos de átomos de silicio y oxígeno en un patrón repetitivo. En la figura 2, podemos observar el cuarzo, contiene los átomos de silicio con una carga positiva y los átomos de oxígeno tienen una carga negativa.

En la Figura 2, cuando el cristal no está bajo ningún tipo de estrés externo, las cargas se dispersan uniformemente en las moléculas a través del cristal.

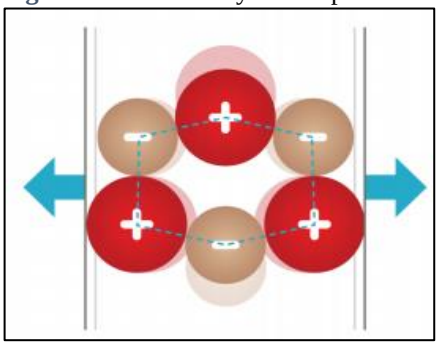
Figura 2.- *Sin tensión mecánica.*



Fuente: NanoDAYS, 2013.

En la Figura 3, se observa cuando el cuarzo se estira o exprime, el orden de los átomos cambia ligeramente. Este cambio causa que las cargas negativas se acumulen en un lado y las cargas positivas se acumulen en el lado opuesto.

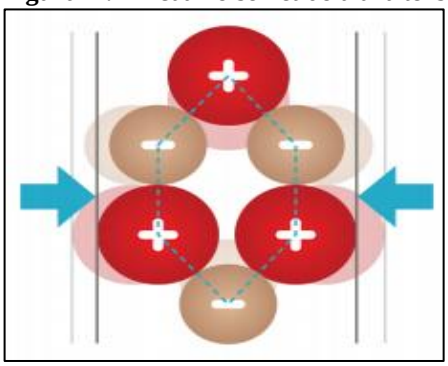
Figura 3.- El cuarzo y su comportamiento en el estado de estiramiento.



Fuente: NanoDAYS, 2013.

Cuando haces un circuito que conecta un extremo del cristal con el otro, puedes utilizar esta diferencia potencial para producir corriente. En la Figura 4, se considera que entre más aprietas el cristal más fuerte será la corriente eléctrica. Por el contrario, enviar una corriente eléctrica a través del cristal cambia su forma (NanoDAYS, 2013).

Figura 4.- El cuarzo sometido a una tensión mecánica (Z).



Fuente: NanoDAYS, 2013.

Materiales Piezoeléctricos

Los materiales piezoeléctricos más comunes son los cristales naturales como el cuarzo, la turmalina, la sal de Rochelle, también dentro de otro grupo existen los cristales sintéticos. Los cuales han servido durante muchos años más y que seguramente seguirán encontrando nuevas aplicaciones en el futuro.

Por su naturaleza cerámica a estos materiales piezoeléctricos puede dárseles cualquier forma o tamaño con la dirección de polarización elegida libremente para cumplir con todas las necesidades de diseño.

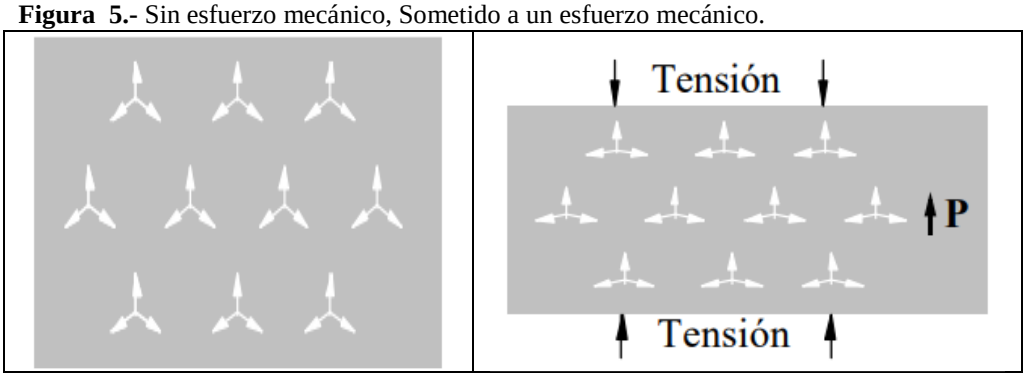
En los materiales piezoeléctricos las constantes dependen de la dirección eléctrico, densidad de flujo, tensión y deformación relativa (Ing. Adolfo F., 2009).

Cuarzo

Históricamente el cuarzo fue el primer piezoeléctrico usado en dispositivos dada la existencia en la naturaleza de grandes mono cristales lo cual hace este material relativamente barato. Presenta como gran ventaja la poca variación con la temperatura de sus coeficientes piezoeléctricos.

La piezoelectricidad en el cuarzo se considera que las cargas eléctricas en la figura 5, en su superficie cuando es sometido a un esfuerzo mecánico, o bien en el efecto contrario, es decir, la deformación mecánica del cristal cuando es sometido a un campo eléctrico (Merino Alvarado, 2013).

Figura 5.- Sin esfuerzo mecánico, Sometido a un esfuerzo mecánico.



Fuente: (Merino Alvarado, 2013).

Piezoeléctricos

Los materiales piezoeléctricos son buenos sensores para la detección de deformaciones y variaciones de temperatura. Son conocidos por sus propiedades piezo y piro eléctricas, por lo que ha sido ampliamente usado en aplicaciones de censado. De tal manera que la energía mecánica en energía eléctrica tiene un proceso conocido como conversión de energía eléctrica, utilizando materiales piezoeléctricos para este proceso se debe considerar su importancia y su aplicación, se considera que es adecuado para aplicaciones de media potencia.

Ventajas e inconvenientes de utilizar el elemento piezoeléctrico

Ventajas:

- Se obtiene a partir de cristales naturales
- Posee excelentes características estabilidad térmica, química y eléctrica.
- Es muy duro y resistente al desgaste así como al envejecimiento.

Inconvenientes:

- Poca electricidad generada a la salida.
- Muy frágiles al contacto con el agua.
- Se debe emplear a temperaturas menores de 550°C, pues por arriba de este pierde sus propiedades piezoeléctricas.
- Sufre interferencias en el modo de conversión.
- Es el menos eficiente de los generadores de energía acústica.

Teoría de Newton aplicada en el piezoeléctrico

Para realizar pruebas a un material piezoeléctrico se debe conocer la fuerza que se ejercerá al material para obtener una diferencia de potencial en su superficie.

Para ello se considera la fuerza en Néwtones, donde un newton(N) es la unidad de fuerza en el Sistema Internacional de Unidades, nombrada así de reconocimiento a Isaac Newton por su trabajo extraordinario en aportación a la Física, especialmente a la mecánica clásica.

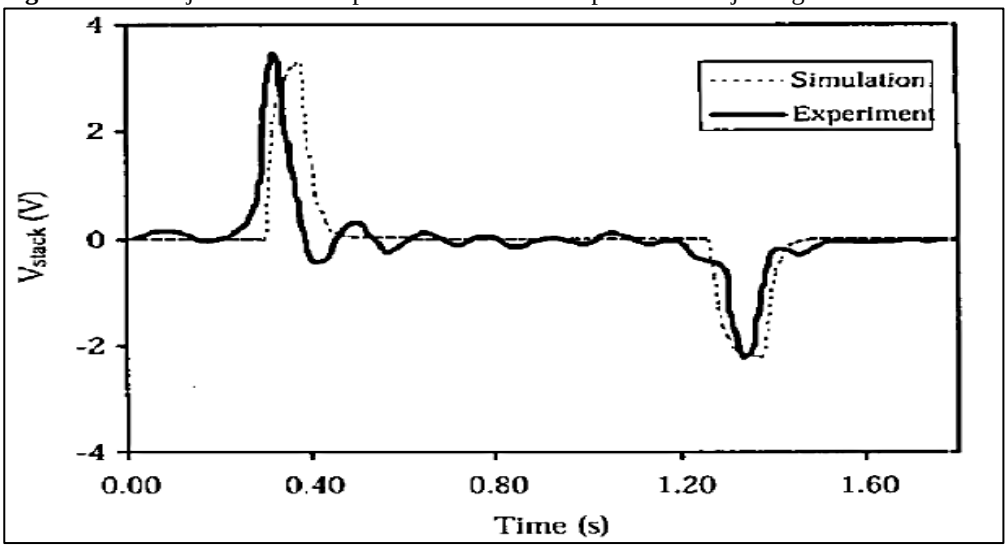
El Newton se define como la fuerza necesaria para proporcionar una aceleración de $1m/s^2$ a un objeto de 1 kg de masa. Demostrado en la Ecuación 1:

$$1N = 1(\frac{Kg * m}{s^2}) \qquad \textit{(Ec. 1)}$$

El impulso eléctrico a un cristal piezoeléctrico para crear una onda de presión y, a continuación, producen una corriente cuando la onda reflejada deforma el cristal. El desfase temporal entre las dos corrientes se utiliza para rectificar la distancia de un objeto.

El funcionamiento consiste en que cuando una persona da un paso, el elemento piezoeléctrico envía una fuerza de mayor duración que la constante de carga del capacitor, se producen dos picos de voltaje, un positivo en el momento en que se empieza a aplicar la fuerza, y uno negativo cuando se retira la fuerza. El resultado se muestra en la Figura 6.

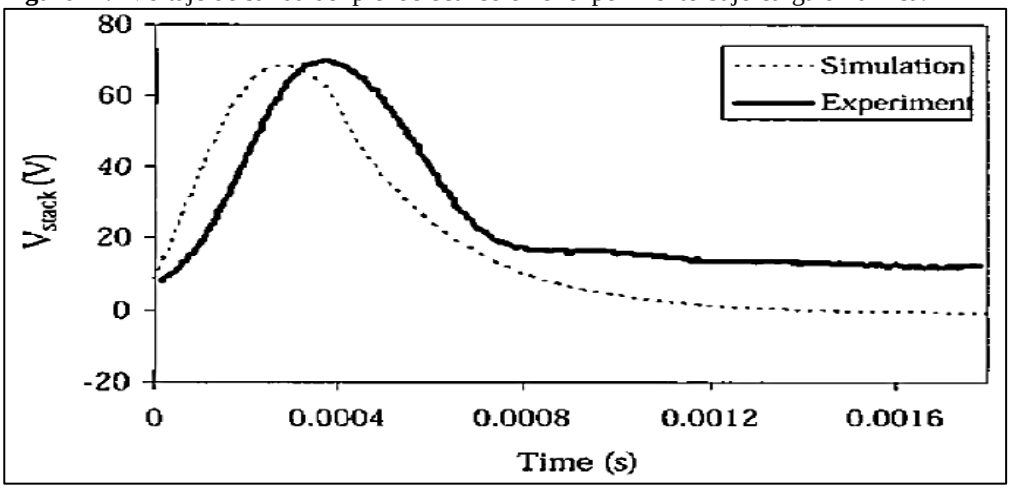
Figura 6.- Voltaje de salida del piezoeléctrico en el experimento bajo carga cuasi- estática.



Fuente: (Gonzalez Diaz, 2017).

En este experimento, en el cual la duración de la fuerza es menos que la constante de carga del capacitor, se encontraron 2 conclusiones que son de gran importancia. Primero, la respuesta del piezoeléctrico consta de únicamente un pico de voltaje positivo. Segundo, debido a que el condensador no se alcanza a cargar por completo, se obtiene que el voltaje generado por el piezoeléctrico es 10 veces mayor al obtenido en la prueba anterior (Gonzalez Diaz, 2017). El resultado se muestra en la Figura 7.

Figura 7.- Voltaje de salida del piezoeléctrico en el experimento bajo carga dinámica.



Fuente: (Gonzalez Diaz, 2017).

Batería LGDAS 31865

Para almacenar la energía obtenida por el sistema, se utilizara una batería de litio-ion de alta capacidad de almacenamiento. Se ha optado por elegir este tipo de batería de la marca LG-DAS, Figura 8; ofrece una alta capacidad, una alta densidad de potencia y un voltaje de salida

de 3,7 V que es el voltaje comúnmente utilizado en electrónica de consumo para cargar dispositivos.

Sus principales características se presentan en la tabla 2.

Figura 8.- Batería LGDAS 31865 de LITIO – ION.

Fuente: (Gonzalez Diaz, 2017).

Tabla 2.- Principales Características del condensador.

PARÁMETRO	VALOR
Diámetro	18 mm
Longitud	650 mm
Voltaje nominal	3,7 V
Voltaje final de descarga	3,0 V
Impedancia interna	600 mohm
Corriente de carga estándar	4 A
Descarga estándar	0,54 A
Voltaje de carga	4,20 + -0,05V
Máx. Corriente de descarga continua	4 A
Largo	64,85 mm
Diámetro	18,33 mm
Peso	46g

Fuente: (Gonzalez Diaz, 2017).

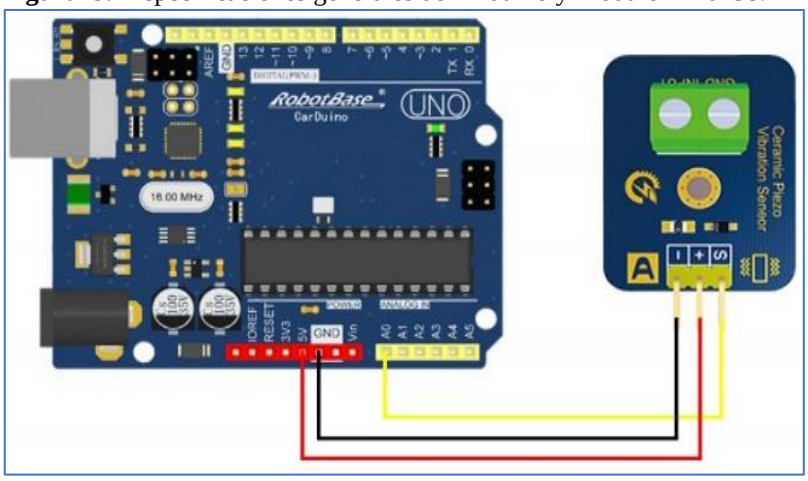
Arduino y módulo KY 0138

En la figura 9, el Arduino Nano es una pequeña y completa placa basada en el ATmega328 (Arduino Nano 3.0) que se usa conectándola a una Protoboard. Tiene funcionalidad similar al Arduino UNO, pero con una presentación diferente. No posee conector para alimentación externa, y funciona con un cable USB Mini-B en vez del cable estándar.

Este módulo es ideal para la detección de vibraciones que normalmente se observa en proyectos de robótica demostrados en la tabla 3. La placa piezocerámica responde a cambios de flexión, tacto, vibración y choque con un cambio en la salida analógica. Cuanto mayor sea el grado de

vibración, mayor será el cambio presentado a la salida. Además, sus terminales ofrecen la oportunidad de cambiar el sensor por otra alternativa si es necesario.

Figura 9.- Especificaciones generales del Arduino y Modulo KY0138.



Fuente: (Bmfcim672c, 2012).

Tabla 3.- Especificaciones generales del Arduino y Modulo KY0138.

Especificaciones	
ARDUINO NANO V3.0	**Módulo KY 0138**
Micro controlador: ATmega328.	Voltaje: 3.3 - 5V
Tensión de Operación (nivel lógico): 5 V.	Transductor de vibraciones piezoeléctricas: 0
Tensión de Entrada (recomendado): 7-12 V.	Corriente: < 1 mA
Tensión de Entrada (límites): 6-20 V.	Circuito integrado: ML8511
Pines E/S Digitales: 14 (de los cuales 6 proveen de salida PWM.	Voltaje: 3.3 - 5V

Fuente: (Perez Erick, 2016).

9.- HIPÓTESIS

¿El estudio comparativo de la energía eléctrica producida en baldosas con dispositivos piezoeléctricos en función de su forma geométrica (cuadrada y rectangular), permitirá determinar la potencia máxima obtenida para la alimentación de cargas de baja consumo en el Club de Robótica de la Universidad Técnica de Cotopaxi?

Causa – Efecto

El contenido de la causa y efecto que contiene nuestro estudio comparativo de la energía producida en baldosas piezoeléctricas, demostrada en la Tabla 4.

Tabla 4.- Causa – Efecto.

Desaprovechamiento del proceso de generación eléctrico	Sectores propicios para la investigación	Ausencia de prototipos
El desaprovechamiento de la energía mecánica por la existencia de movimiento a cada paso que se dé.		
El desconocimiento de la aplicación de energía mecánica para la generación eléctrica.	Ubicación Geográfica	Costos de producción de energía mecánica.

Elaborado por: El Autor.

Matriz de Variables

Variable Independiente: Baldosas con dispositivos piezoeléctricos.

Variable dependiente: Generación de energía eléctrica.

En la Tabla 5, las variables de entrada y salida dadas por cada uno de nuestros elementos que conforma el material de estudio de las baldosas piezoeléctricas.

Tabla 5.- Variable de entrada y variable de salida.

Variable de entrada		**Variable de salida**
Voltaje piezoeléctrico (V/m)	**Proceso**	Voltaje
Conexiones de los elementos piezoeléctricos (serie, paralelo, mixto)		Eficiencia
Selección del tipo de piezoeléctrico		Corriente
Resistencia		

Elaborado por: El Autor.

10.- METODOLOGÍAS

En el presente proyecto se desarrolló una investigación de carácter descriptivo la cual se llevara a cabo en el Club de Robótica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para la recolección de información es necesaria la adquisición de datos. De acuerdo a la metodología por tratarse de un prototipo generador de energía se determinó la siguiente documentación.

Tipo de investigación

De campo

Se utilizará la investigación de campo en el proceso de recopilación de datos existentes en la Universidad Técnica de Cotopaxi, y será utilizada para determinar el tamaño de muestra. El

levantamiento de la información a través de la observación in situ, lo cual fue útil en el desarrollo del proyecto de investigación, como investigador aportare a la investigación de campo para el análisis o diagnóstico del desaprovechamiento de la energía piezoeléctrica.

Bibliografía

Este método se refiere a la recolección de información necesaria para el desarrollo de la investigación, se analizó las características de funcionamiento de los elementos piezoeléctricos, con lo cual se pueda elaborar y sustentar teóricamente el trabajo investigativo.

Métodos

Científico

El método científico será aplicado para desarrollar un conjunto de pasos ordenados para hallar nuevos conocimientos en relación a la generación eléctrica, aprovechando la generación de la energía piezoeléctrica.

Técnicas

Medición

Por medio de la técnica de medición permite determinar el tipo de conexión, la cual se adecue a las baldosas piezoeléctricas y den como resultado los valores de voltaje y corriente respecto al tiempo, dependiendo de la estructura geométrica del prototipo.

Cálculo

Con la ayuda de esta técnica se aplica las fórmulas necesarias para determinar los valores resultantes de las diversas configuraciones de conexión.

- Fuerza aplicada al dispositivo piezoeléctrico $N = (\frac{Kg * m}{s^2})$.
- Determinación de la muestra (n).
- Selección de la forma geométrica mediante porcentajes estadísticos (%).
- Presión ejercida por el ser humano $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$.
- Determinación para el número de piezoeléctricos.
- Distribución de los dispositivos piezoeléctricos para la baldosa cuadrada y rectangular.

- Ecuaciones para la determinación de potencia eléctrica (μW), corriente (μA), energía eléctrica producida (W).

Simulación

Me permite observar el comportamiento del sistema más aproximado a la realidad, donde se tiene en cuenta la compresión generada sobre el dispositivo piezoeléctrico para hallar así, la respuesta eléctrica del circuito.

Instrumentos

Balanza

Instrumento utilizado para conocer el peso de cada uno de las personas y así tener una magnitud dada en kilogramos.

Multímetro

Utilizaremos un dispositivo para identificar cada una de los piezoeléctricos y poder agrupar con las mismas características ya sea voltaje o corriente, y una vez ya determinada la cantidad exacta, empezaremos a obtener datos resultantes, pero como a bien es de conocimiento no podemos afirmar con un simple dato en un periodo mínimo por lo que el multímetro nos ayudara solo para identificar características similares de estos elementos electrónicos que estamos utilizando para la obtención de datos.

Software para la simulación

Para diseñar y modelar es necesario contar con softwares que aporten al estudio del análisis de las líneas fuerzas y niveles de tensión.

Diseño experimental de generación de los elementos piezoeléctricos

En la presente investigación se establecieron en el diseño metodológico los siguientes pasos:

- Medición de niveles de tensión promedio, generada por el piezoeléctrico AB2720B.
- Determinar las formas geométricas de las baldosas en la Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Mediante un software de simulación establecer el área de deformación generada por líneas de fuerza de una pisada estándar.
- Con el dato anterior se establece el número de los piezoeléctricos por pisada estándar y por área de las baldosas cuadrada y rectangular.

- Establecer la distancia de separación de entre los piezoeléctricos en las baldosas cuadrada y rectangular.
- Diseño experimental de las diferentes posibilidades de pisada estándar en las baldosas cuadrada y rectangular.
- Medición de los niveles de tensión promedio, en conexiones serie, paralelo y mixto de cada una de las posibilidades de pisada estándar en baldosas cuadrada y rectangular.
- Cálculos de la intensidad de corriente, potencia y energía en los diferentes tipos de conexiones en baldosas cuadrada y rectangular.
- Simulación de los niveles de tensión promedio, en conexiones serie, paralelo y mixto de cada una de las posibilidades de pisada estándar en baldosas cuadrada y rectangular.
- Comparación de los niveles de tensión, intensidad de corriente, de las conexiones, serie, paralelo y mixto en baldosas cuadrada y rectangular.

Proceso Experimental

Medición de niveles de tensión promedio, generada por el piezoeléctrico AB2720B.

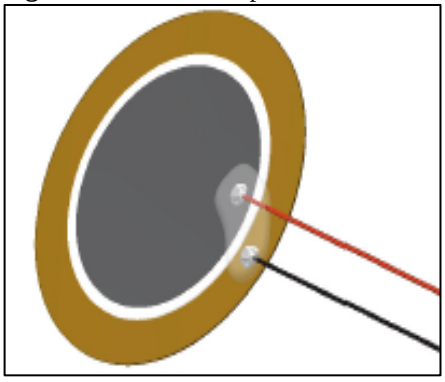
Pruebas realizadas al piezoeléctrico

Antes de comenzar con las respectivas pruebas comparativas, se debe conocer el tipo de piezoeléctrico a utilizar y sus principales características:

Tamaño de los piezoeléctricos para este proyecto:

Para determinar el tamaño que se utilizará de los piezoeléctricos, se remite al fabricante del cual se escogió el material a utilizar, este fabricante es (PUI AUDIO COMPANY). El tipo de piezoeléctrico a utilizar se observa en la figura 10 y tabla 6:

Figura 10.- Elemento piezoeléctrico, 27mm (AB2720B).



Fuente: (Chila Pacheco, 2019)

Tabla 6.- Especificaciones generales del piezoeléctrico.

ESPECIFICACIONES		
PARAMETROS	**VALORES**	**UNIDADES**
Frecuencia resonante	2,000 +- 500	Hz
Impedancia resonante	300	OHM
Voltaje de entrada máximo	30	VP-P
Capacitancia @ 1KHZ	45,000+- 30%	PF
Material de la placa	LATÓN	-
Temperatura de funcionamiento	-20 ~ +70	°C
Temperatura de almacenamiento	-30 ~ +80	°C

Fuente: (Chila Pacheco, 2019).

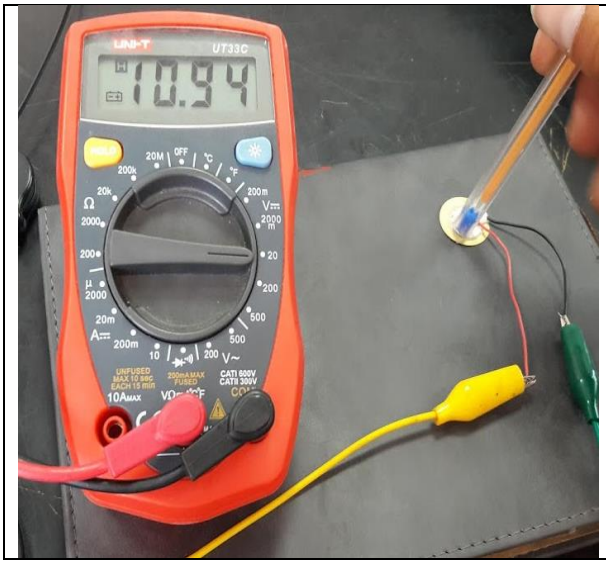
Instrumento de medición

Las mediciones de tensión promedio se obtienen de las terminales del piezoeléctrico, son mediante un osciloscopio de almacenamiento digital INSTEK de serie GDS-2104. Para la obtención de datos vamos a realizar el siguiente ejemplo; mediante la utilización del osciloscopio, vamos a representar ondas alternas que envía el elemento piezoeléctrico cuando recibe una fuerza, demostrados en lo siguiente:

Mediciones del piezoeléctrico

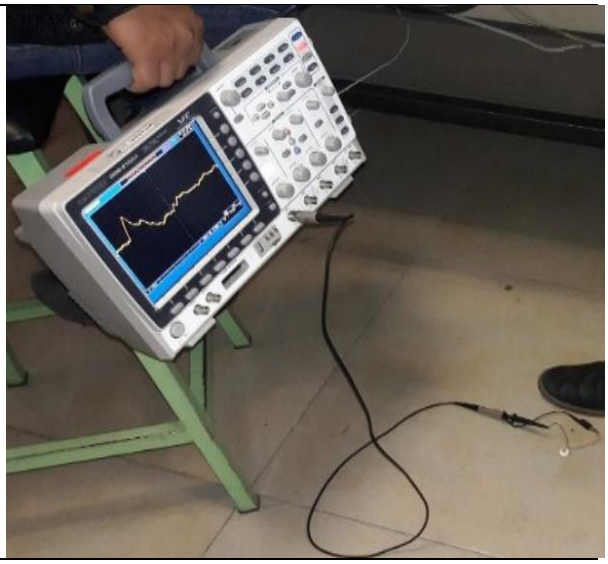
A continuación, se realizará las respectivas mediciones con el piezoeléctrico para demostrar el comportamiento de forma individual, de tal manera observar cuál es su Voltaje (V) y su tensión dada por el instrumento de medición osciloscopio INSTEK (GDS-2104). Al ser sometido a presión cualquiera y esta va a generar un voltaje con respecto al tiempo, de la figura 11 a la figura 16:

Figura 11.- Voltaje de un piezoeléctrico sometido a una presión.



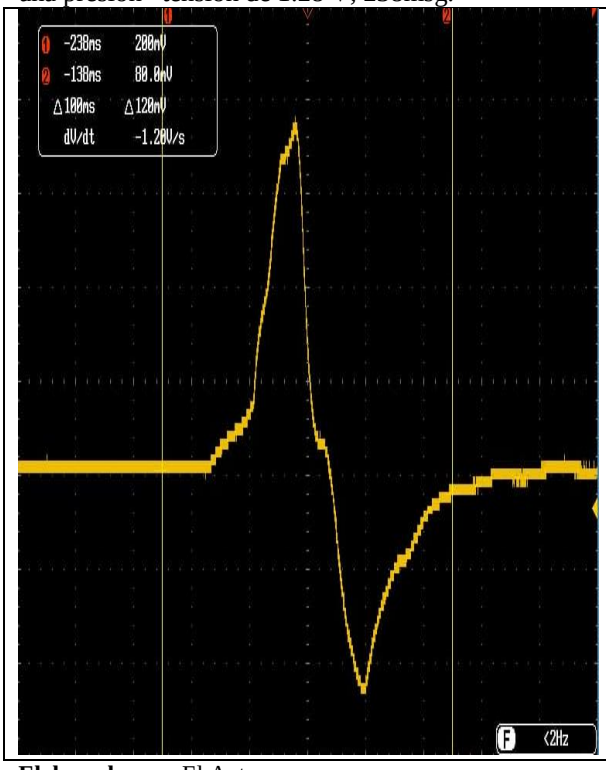
Elaborado por: El Autor.
Instrumento de medición: Multímetro.

Figura 12.- Vista panorámica del osciloscopio INSTEK (GDS-2104). conectado al piezoeléctrico



Elaborado por: El Autor.
Instrumento de medición: Osciloscopio.
Laboratorio: Universidad Técnica de Cotopaxi.

Figura 13.- Voltaje de un piezoeléctrico sometido a una presión– tensión de 1.28 V, 238msg.

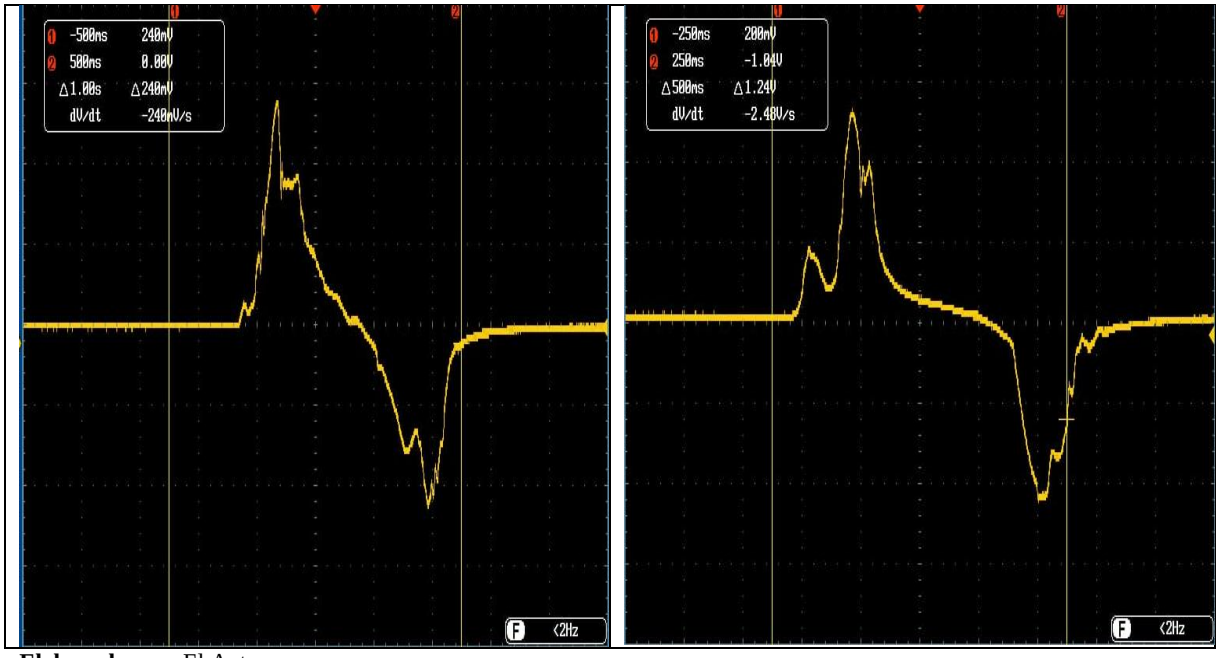


Elaborado por: El Autor.
Instrumento de medición: Osciloscopio.
Laboratorio: Universidad Técnica de Cotopaxi.

Figura 14.- Voltaje de un piezoeléctrico sometido a una presión– tensión de 1.36 V, 277msg.

Figura 15.- Voltaje de un piezoeléctrico sometido a una presión– tensión de 2,40 V, 500msg.

Figura 16.- Voltaje de un piezoeléctrico sometido a una presión– tensión de 2,48 V, 250msg.



Elaborado por: El Autor.
Instrumento de medición: Osciloscopio.
Laboratorio: Universidad Técnica de Cotopaxi.

Determinación de la forma geométrica en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

En la Figura 17, el campo de estudio para la determinación de la forma geométrica se realiza en la Universidad Técnica De Cotopaxi, donde se obtendrá todos los valores de nivel de energía a producir.

Figura 17.- Campo de estudio (Unidad Técnica de Cotopaxi).

Elaborado por: El Autor.

Para empezar el procedimiento de esta investigación, se considera lo siguiente:

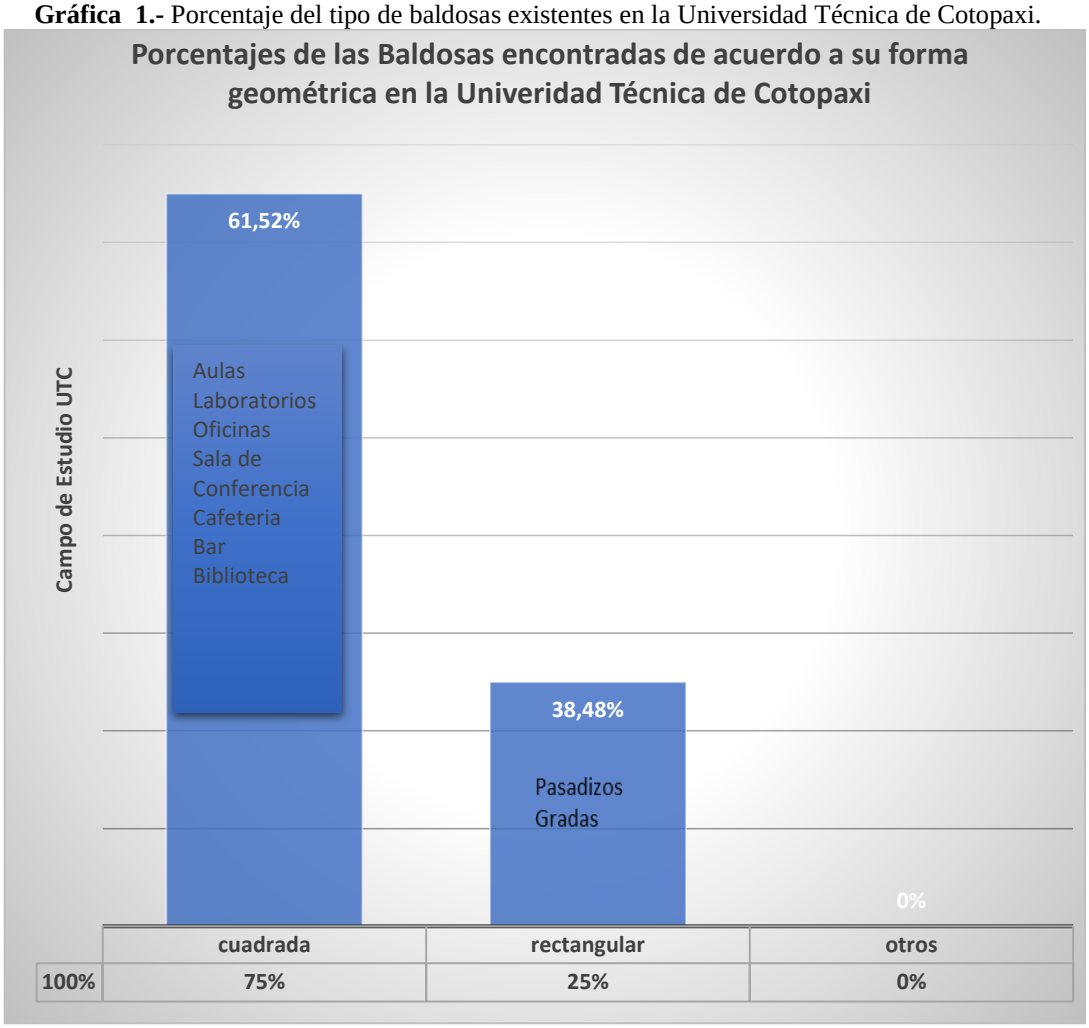
El Universo: está comprobado que los cerámicos de geometría cuadrada y rectangular son existentes en diferentes pisos de la edificación tanto académico como administrativo de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Población: está comprobado que los cerámicos corresponde a las medidas estándares, cuadradas de 30 cm de largo y 30 cm de ancho, rectangular 30 cm de largo y 60 cm de ancho.

Muestra: con esta información se seleccionó al azar los tipos de cerámicos a utilizar.

En la Gráfica 1, cada uno de estos sectores fue analizado en porcentajes para el estudio comparativo de la forma geométrica que se desea estudiar, dentro del estudio de campo fueron seleccionados los cerámicos con los siguientes valores: cuadrada (61,52%) y rectangular (38,48%).

Gráfica 1.- Porcentaje del tipo de baldosas existentes en la Universidad Técnica de Cotopaxi.



Elaborado por: El Autor.

La Tabla 7, representa al 100% en especificaciones de los lugares que existen las diferentes formas geométricas en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Tabla 7.- Porcentaje y cantidad del tipo de baldosas existentes en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

ESPECIFICACIONES				
PARÁMETROS	**CANTIDAD**	**N° BALDOSAS** (cm^2)	**TOTAL CUADRADAS**	**TOTAL RECTANGULAR**
Aulas	258	30,186.00	55,646.00	0
Laboratorios	8	6,000.00		
Oficinas	20	14,000.00		
Sala de conferencia	5	1,820.00		
Cafetería	2	960.00		
Biblioteca	1	2,200.00		
Bar	1	480,00		
Pasadizo general	15	32,400.00	0	34,800.00
Gradas a entradas principales	10	2,400.00		

Elaborado por: El Autor.

Software de simulación para la determinación del área de deformación generada por líneas de fuerza de una pisada estándar.

Para la determinación del área se considera obtener los siguientes puntos:

El tamaño de la muestra

Para determinar el tamaño de la muestra se considera que estudiantes del Club de Robótica de la Universidad Técnica de Cotopaxi aportaron con la toma de datos partiendo de la siguiente ecuación 2:

$$n = \frac{z^2 * p * q * N}{e^2(N-1) + z^2 * p * q} \qquad \textit{(Ec. 2)}$$

Donde:

n= tamaño de la población.

z= nivel de confianza.

p= población de éxito, o proporción esperada.

q= probabilidad de fracaso.

e= precisión (error máximo admisible en términos de proporción).

En la determinación de la muestra se considera los siguientes datos, N=30 estudiantes del Club de Robótica de la Universidad Técnica de Cotopaxi son considerados para el estudio comparativo del nivel de energía, también se considera el nivel de confianza $\beta = 95\%$, esto asume que la muestra seleccionada se encontraran con su estadística calculando alrededor del valor poblacional. Para este valor del 95% estandarizado a la curva normal de Z=1,96%.

El nivel de precisión también se considera un margen de error máximo es la diferencia entre la estadística y el perímetro poblacional estandarizado del (0,05%).

La proporción esperada es el valor de p=6 estudiantes entre hombres y mujeres que desean ser partícipes en el experimento. Esta selección se realizó de manera en fracción del género es decir el 50% hombres y 50% mujeres en función de "p".

$$n = \frac{(1,96)^2 * (6) * (1-6) * (30)}{(0,05)^2 (30-1) + (1,96)^2 * (6) * (1-6)} \qquad \textit{(Ec. 3)}$$

$$n = \frac{-3.457,44}{-115,1755}$$

$$n = 30,01$$

Se considera que el tamaño de mi población entre hombres y mujeres es finita con un valor de 30,01%.

La fuerza aplicada al piezoeléctrico es proporcional a la masa que presenta una persona dada por la organización mundial de la salud (O.M.S.) se considera los pesos estándares en kilogramos, de acuerdo a la característica de este peso se tendrán diferentes fuerzas aplicadas al elemento piezoeléctrico, por ello se proponen los siguientes datos de la tabla 8, se realizó un número de experimentos aleatorios de la siguiente manera:

Tabla 8.- Toma de datos de personas de 6 personas (Miembros) del Club de Robótica de la UTC.

N° de Persona	Sexo	Estatura (metros)	Peso (kilogramos)
1	Masculino	1,65 m	56 kg
2		1,68 m	49 kg
3		1,58 m	82 kg
4	Femenino	1,52 m	51 kg
5		1,60 m	50 kg
6		1,70 m	64 kg

Elaborado por: El Autor.

Gráfica 2.- Toma de datos de personas de sexo masculino del Club de Robótica de la UTC.

Elaborado por: El Autor.

Considerando la fuerza gravitacional en la tierra que es de 9,80665 $\frac{m}{s^2}$,

Se obtienen las siguientes fuerzas aplicadas al elemento, demostrada en la tabla 9:

Tabla 9.- Cálculo de la fuerza con respecto a la masa de una persona.

No de Persona	Peso aproximado (Kg)	Fuerza gravitacional de la tierra $(\frac{m}{s^2})$	Calculo de la fuerza	Fuerza(N)
1	56	$9{,}80665\ \frac{m}{s^2}$	N= (56) (9,80665 $\frac{m}{s^2}$)=	N=549,17
2	49		N= (49) (9,80665 $\frac{m}{s^2}$)=	N=480,52
3	82		N= (82) (9,80665 $\frac{m}{s^2}$)=	N=804,14
4	51		N= (51) (9,80665 $\frac{m}{s^2}$)=	N=500,13
5	50		N= (50) (9,80665 $\frac{m}{s^2}$)=	N=490,33
6	64		N= (64) (9,80665 $\frac{m}{s^2}$)=	N=627,62

Elaborado por: El Autor.

Se considera utilizar la siguiente fuerza de (802,14 N); que ejerce la tercera persona, ya que permitirá observar cual es la diferencia de potencial producida a la máxima fuerza, de tal manera logremos realizar los experimentos de nivel de voltaje.

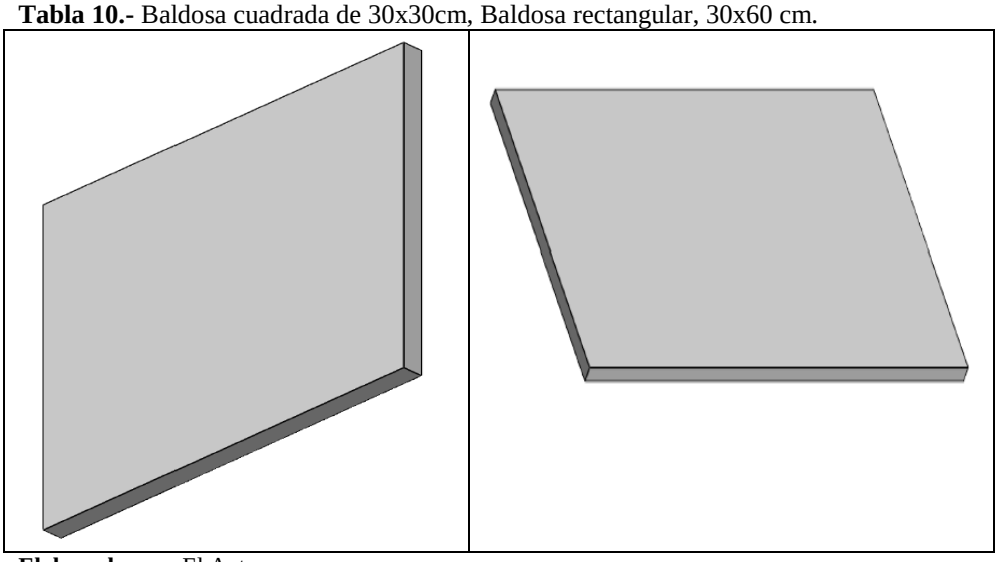
Diseño del tipo de baldosa piezoeléctrica de acuerdo a su forma geométrica seleccionada

El objetivo de este capítulo consiste en desarrollar el diseño en detalle del conjunto entre la baldosa y los dispositivos piezoeléctricos. El método radica en que se definirán valores de acuerdo al tipo de forma geométrica a utilizar y esta conllevara a varios criterios para que al final se obtenga el conjunto terminado. A continuación las siguientes baldosas a utilizar son de acuerdo a su medida estándar:

Baldosa comercial a usar

La baldosa comercial elegida es de forma geométrica cuadrada de 30x30cm, a diferencia de la baldosa rectangular de 30 X 60 cm”, datos obtenidos de la empresa TORRA (Mosaicos, s.f), la cual se demuestra en la tabla 10:

Tabla 10.- Baldosa cuadrada de 30x30cm, Baldosa rectangular, 30x60 cm.



Elaborado por: El Autor.

Zona del Pie

En la Figura 18, es de vital importancia conocer la zona principal del pie, cuyos nombres aportan para el valor de a la investigación del área total generada por el ser humano.

Figura 18.- Zonas principales de la planta del pie.

Fuente: (Marcos_Prendes_Hurtado, 2016)

Se considera que dentro de la presión ejercida por el ser humano y quien nos va proporcionar del respectivo resultado en la zona del pie con la siguiente ecuación 4:

$$P = \frac{F}{A}\left(\frac{Kg}{cm^2}\right) \qquad (Ec.\ 4)$$

Donde:

P= Presión total ejercida por el pie humano.

F= Peso de la persona (Kg).

A= Área total del pie humano (cm^2).

Características generales de la marcha

Otro aspecto muy importante en el proyecto es relacionado con la marcha humana. Si bien no es necesario profundizar mucho en este tema, es muy importante conocer la duración de un paso promedio y la fuerza que ejerce sobre el suelo en el momento de efectuarlo.

En la Tabla 11, se pueden observar las características generales de la marcha humana (Marcos_Prendes_Hurtado, 2016).

Tabla 11.- Características generales de la marcha.

Rango de valores normales para los parámetros de tiempo- distancia de la marcha de los adultos a una velocidad de marcha libre	
Zancada o ciclo tiempo	1.0 a 1.2 m/s
Zancada o ciclo de longitud	1.2 a 1.9 m
Anchura del paso estándar máximo	10 cm
Longitud del paso estándar máximo	30 cm
Cadencia	90 a 140 pasos/ minuto
Velocidad	0.9 a 1.8m/s

Fuente: (Marcos_Prendes_Hurtado, 2016).

La cadencia normal se encuentra entre los valores de 90 a 140 pasos por minuto. Por lo tanto para este proyecto se toma un valor medio. Se utiliza una cadencia de 120 pasos por minuto, es decir, cada paso con una duración promedio de 0.5 segundos.

La determinación del número de los piezoeléctricos por pisada estándar y por área de las baldosas cuadrada y rectangular.

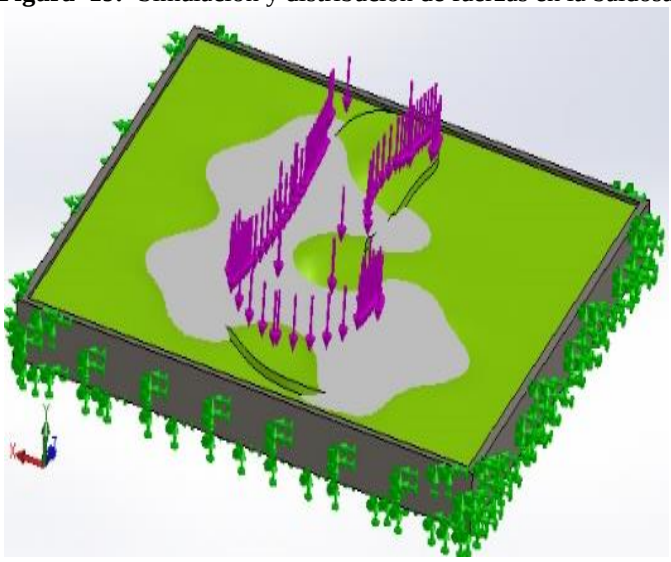
Cantidad y distribución de los piezoeléctricos

En el análisis de desplazamiento del punto de deformación, apunta a seleccionar la baldosa cuadrada por obtener un porcentaje de investigación mayor de 61,52%, dato obtenido de la Gráfica 10.1, con un valor de esfuerzo total de 804.14 (N) de la Tabla 12, persona miembro del Club de Robótica número 3, este tipo de cerámico va a estar sometida a un esfuerzo total pero el estudio divide el esfuerzo a la mitad con un valor de 402.07 (N) por pisada, el estudio corresponde a determinar el área de la pisada para la distribución de los piezoeléctricos.

A continuación se determinara la distribución de los elementos piezoeléctricos:

En la figura 19, realizamos la vista isométrica de la baldosa piezoeléctrica aplicando el esfuerzo de 402.07 (N) por pisada.

Figura 19.- Simulación y distribución de fuerzas en la baldosa.



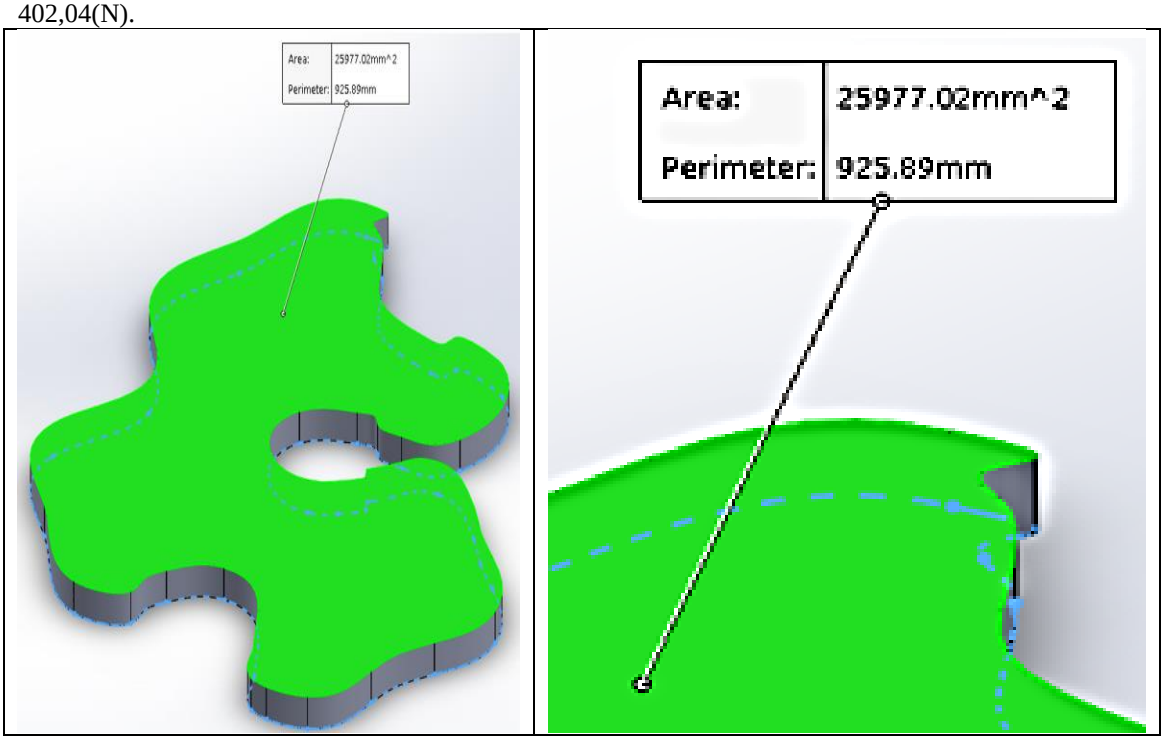
Elaborado por: El Autor.

Mediante la utilización del Software y datos de la baldosa cuadrada estándar de la tabla 12, se consideran los siguientes datos:

- Área de la pisada del ser humano estándar: $(300*100)mm^2$.
- Área total de la baldosa: $900cm^2$.

Área total de la superficie: $25977{,}02\ mm^2$ la misma será trasformada a $259{,}7702cm^2$, dato obtenido del software de la tabla 12:

Tabla 12.- Vista isométrica de nuestra superficie total generado por el pie del ser humano, con un peso de 402,04(N).



Elaborado por: El Autor.

Como resultado final la Ecuación 5, divide el resultado del área total de nuestra baldosa con el área total de la superficie generada por el peso del ser humano de 402.07 (N) por pisada:

$$\text{Número de piezoelectricos por pisada}=\frac{900cm^2}{259{,}7702cm^2} \qquad (Ec.\ 5)$$

Número de piezoelectricos por pisada=3,4

Número de piezoelectricos por pisada= 3

Establecer la distancia de separación de entre los piezoeléctricos en las baldosas cuadrada y rectangular

Las medidas del pie estándar es; alto 30cm y ancho $10cm$, y la longitud de uno de los lados de la baldosa de 30cm, en toda la superficie de la baldosa caben 3 pies de medida estándar, de acuerdo al cálculo anterior se deben colocar 3 piezoeléctricos por cada pie, por lo que se concluye que en toda la superficie de la baldosa entraran 9 piezoeléctricos; lo que también responden a las 3 zonas de apoyo de la planta del pie (dedos, metatarso, medio y talón).

Cálculos para la forma cuadrada

$$\text{distancia entre piezoelectricos a lo largo} = \frac{30cm}{3\,piezoelectri\cos} = 10cm \qquad (Ec.\ 6)$$

$$\text{distancia entre piezoelectricos a lo ancho} = \frac{30cm}{3\,piezoelectri\cos} = 10cm$$

$$\text{distancia para piezoelectricos del perimetro a lo largo} = \frac{10cm}{2} = 5cm \qquad (Ec.\ 7)$$

$$\text{distancia para piezoelectricos del perimetro a lo ancho} = \frac{10cm}{2} = 5cm$$

Cálculos para la forma rectangular

$$\text{distancia entre piezoelectricos a lo largo} = \frac{30cm}{3\,piezoelectri\cos} = 10cm \qquad (Ec.\ 8)$$

$$\text{distancia entre piezoelectricos a lo ancho} = \frac{60cm}{3\,piezoelectri\cos} = 20cm$$

$$\text{distancia para piezoelectricos del perimetro a lo largo} = \frac{10cm}{2} = 5cm \qquad (Ec.\ 9)$$

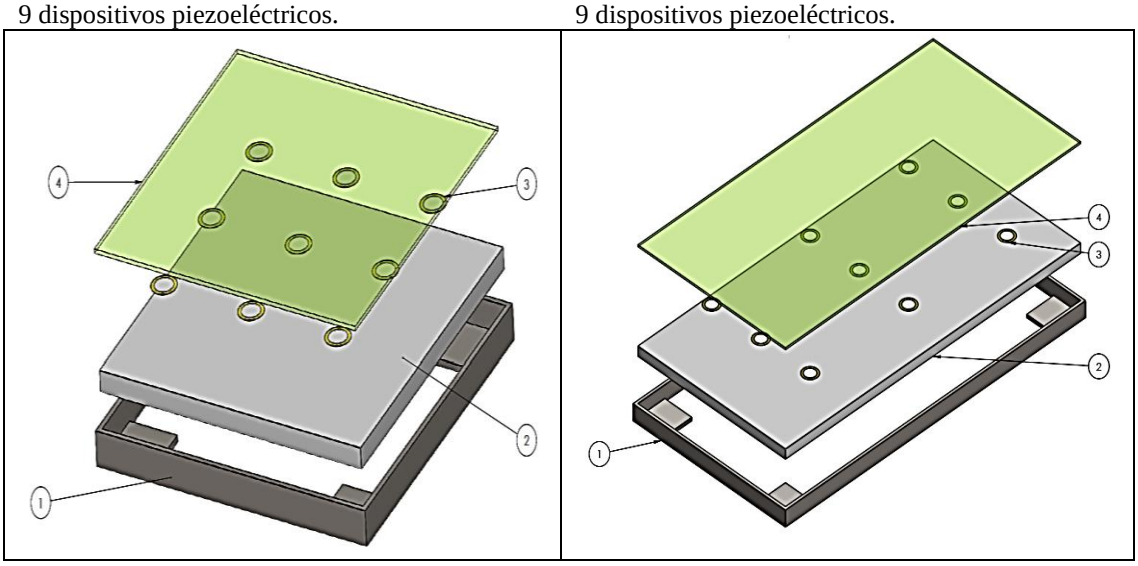
$$\text{distancia para piezoelectricos del perimetro a lo ancho} = \frac{20cm}{2} = 10cm$$

Diseño de baldosas piezoeléctricas

Para la toma de adquisición de datos vamos a conocer el diseño de nuestras baldosas piezoeléctricas, en la figura 20 y 21:

Figura 20.- Diseño de la baldosa piezoeléctrica, forma geométrica cuadrada, con distribución de 9 dispositivos piezoeléctricos.

Figura 21.- Diseño de la baldosa piezoeléctrica, forma geométrica rectangular, con distribución de 9 dispositivos piezoeléctricos.



Elaborado por: El Autor.

En la tabla 13, damos a conocer cada uno de los materiales que conforma la baldosa geométrica cuadrada y rectangular:

Tabla 13.- Especificaciones generales de las baldosas piezoeléctricas, forma geométrica (cuadrada, rectangular).

No	MATERIAL	Especificación	Cantidad	Forma Geométrica	Forma Geométrica
1	ASTM 36 de 3mm	Base o soporte de los materiales	1	Cuadrada	Rectangular
2	MDF de 15 mm	Base para los piezoeléctricos.	1		
3	Elemento piezoeléctrico, 27mm (AB2720B)	Elementos electrónicos de principal función de generar energía.	9		
4	Acrílico de 3mm	Base de protección de los piezoeléctricos	1		

Elaborado por: El Autor.

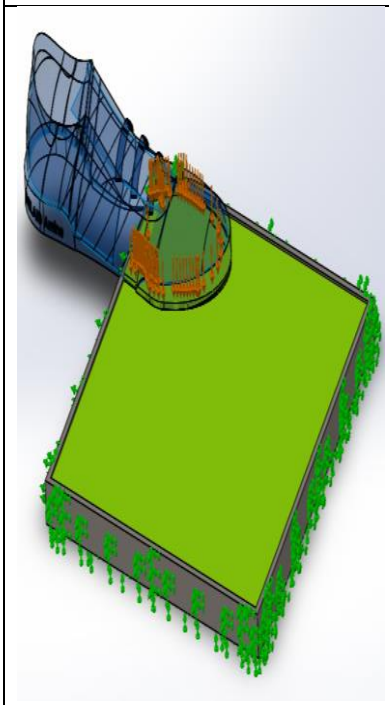
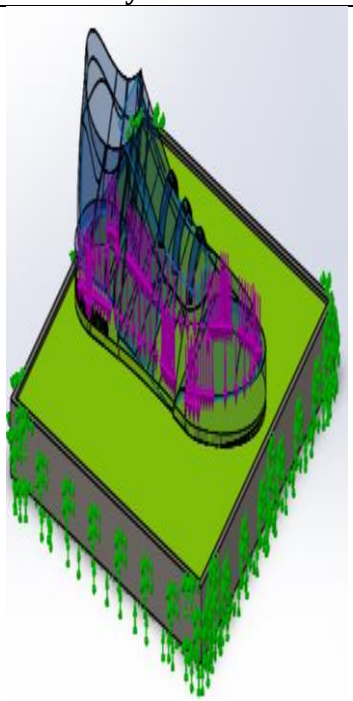
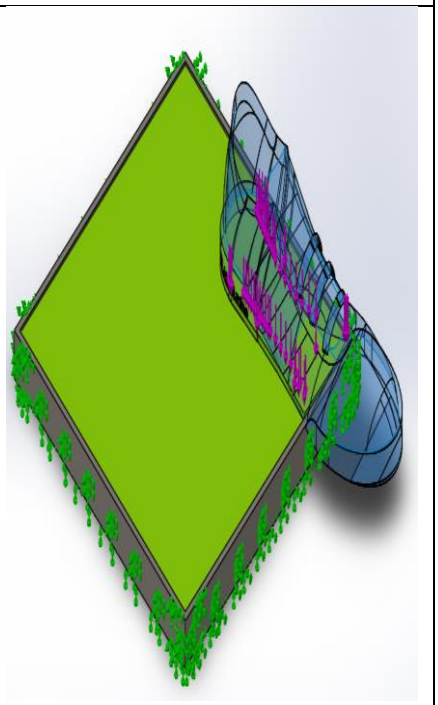
Diseño experimental de las diferentes posibilidades de pisada estándar en las baldosas cuadrada y rectangular.

Análisis de resultados de la simulación mecánica y eléctrica del sistema ante la entrada del paso de una persona

El análisis de resultados consiste en simular la respuesta del sistema cuando se introduce una fuerza equivalente al paso de un peatón, en la tabla 15, 16, 17. Se dice que es ideal, porque para este numeral se supone que la fuerza en las diferentes tipos de conexiones y formas de la zancada al momento de caminar son 3 casos: (dedos metatarso, media, talón) tabla 14, esto se considera como un peso de 402.07 (N), hacia los dispositivos piezoeléctricos se ejerce exactamente en diferentes momentos de tiempo. A partir de este punto se empieza a trabajar con las diferentes tipos de conexiones (serie, paralelo, mixto), el cual tiene como resultado la fuerza equivalente y su deformación para las baldosas (cuadrada, rectangular).

En el estudio comparativo se considera trabajar con las siguientes zonas del pie para el análisis comparativo:

Tabla 14.- Diversas formas de la zancada por el pie del ser humano.

ZONA DEL PIE HUMANO AL MOMENTO DE CAMICAR		
Dedos y Metatarso	**Dedos, Metatarso, media y Talón**	**Talón**
		

Elaborado por: El Autor.

Tabla 15.- Datos obtenidos de la simulación con una fuerza constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada y rectangular, presionando 2 piezoeléctricos: en la zona dedos y metatarso del pie.

Baldosa cuadrada	**Serie**	**Paralelo**	**Mixto**	**Baldosa rectangular**	**Serie**	**Paralelo**	**Mixto**
Tiempo (s)	**Tensión Promedio (V)**	**Tensión Promedio (V)**	**Tensión Promedio (V)**	**Tiempo (s)**	**Tensión Promedio (V)**	**Tensión Promedio (V)**	**Tensión Promedio (V)**
1,02	15,33	0.44	4,43	1,02	0,46	6,64	4,22
1,04	17,09	0.65	13,52	1,04	1,24	5,55	7,11
1,06	15,02	0,58	8,34	1,06	0,4	4,23	3,21
1,07	17,07	0,62	3,36	1,07	1,35	6,19	5,31
1,09	14,52	0.96	8,88	1,09	0,13	6,45	2,02
1,08	11,83	0.57	4,63	1,08	0,54	5,12	2,76
1,12	17,25	0,68	4,88	1,12	0,89	4,12	5,09
1,13	18,82	0,66	8,16	1,13	1,36	7,19	5,57
1,13	14,44	0,63	9,72	1,13	0,58	5,45	4,88
1,14	16,5	0,65	5,43	1,14	0,55	5,09	3,51
1,09	**15,79**	**0,64**	**7,|14**	**1,09**	**0,75**	**5,6**	**4,37**

Elaborado por: El Autor.

Tabla 16.- Datos obtenidos de la simulación con una fuerza constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada y rectangular, presionando 3 piezoeléctricos: dedos, metatarso, media y talón.

Baldosa cuadrada	**Serie**	**Paralelo**	**Mixto**	**Baldosa rectangular**	**Serie**	**Paralelo**	**Mixto**
Tiempo (s)	**Tensión Promedio (V)**	**Tensión Promedio (V)**	**Tensión Promedio (V)**	**Tiempo (s)**	**Tensión Promedio (V)**	**Tensión Promedio (V)**	**Tensión Promedio (V)**
1,02	16	0.55	5,54	1,02	1,79	5,97	5,55
1,04	18,05	0.76	12,63	1,04	1,91	6,22	7,78
1,06	14,03	0,69	7,45	1,06	1,73	5,56	4,54
1,07	18,06	0,73	4,47	1,07	0,02	6,86	5,98
1,09	15,34	0.87	9,76	1,09	1,46	5,78	3,31
1,08	10,87	0.68	3,54	1,08	1,21	3,79	3,76
1,12	18,98	0,79	5,77	1,12	0,22	6,21	5,24
1,13	17,45	0,77	7,27	1,13	0,03	7,86	6,9
1,13	15,56	0,74	8,61	1,13	1,58	6,78	5,55
1,14	17,45	0,76	4,54	1,14	1,22	5,76	4,84
1,09	**16,18**	**0,75**	**6,96**	**1,09**	**1.12**	**6,08**	**5,35**

Elaborado por: El Autor.

Tabla 17.- Datos obtenidos de la simulación con una fuerza constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada y rectangular, presionando 1 piezoeléctrico, talón del pie.

Baldosa cuadrada	**Serie**	**Paralelo**	**Mixto**	**Baldosa rectangular**	**Serie**	**Paralelo**	**Mixto**
Tiempo (s)	**Tensión Promedio (V)**	**Tensión Promedio (V)**	**Tensión Promedio (V)**	**Tiempo (s)**	**Tensión Promedio (V)**	**Tensión Promedio (V)**	**Tensión Promedio (V)**
1,02	17,11	0.22	6,65	1,02	1,79	5,97	5,55
1,04	15,07	0.43	11,34	1,04	1,91	6,22	7,78
1,06	17,04	0,36	10,56	1,06	1,73	5,56	4,54
1,07	15,05	0,44	1,59	1,07	0,02	6,86	5,98
1,09	16,33	0.78	9,66	1,09	1,46	5,78	3,31
1,08	9,65	0.39	6,86	1,08	1,21	3,79	3,76
1,12	15,47	0,46	6,66	1,12	0,22	6,21	5,24
1,13	16,82	0,44	6,28	1,13	0,03	7,86	6,9
1,13	12,66	0,33	7,95	1,13	1,58	6,78	5,55
1,14	14,32	0,38	5,43	1,14	1,22	5,76	4,84
1,09	**14,95**	**0,4**	**7,3**	**1,09**	**1.12**	**6,08**	**5,35**

Elaborado por: El Autor**.**

Datos promedios obtenidos de la simulación en función del tiempo(s), para una baldosa cuadrada y rectangular

La tabla 18, 19, 20, muestra todos los valores promedio, obtenidos de la simulación en función del tiempo, para conexiones (serie, paralelo y mixta).

Tabla 18.- Valores promedio simulados en baldosas cuadrada y rectangular, al pisar 2 piezoeléctricos: dedos y metatarso del pie.

Nivel de Tensión generados				
Tabla N°	**Conexión**	**Forma geométrica**	**Fuerza (N)**	**Tensión LabVIEW (V)**
15	serie	Cuadrada	402.14(N)	15,79
		Rectangular		0,75
	paralelo	Cuadrada		0,64
		Rectangular		5,60
	mixta	Cuadrada		7,|14
		Rectangular		4,37

Elaborado por: El Autor**.**

Tabla 19.- Valores promedio simulados en baldosas cuadrada y rectangular, al pisar 3 piezoeléctricos: dedos, metatarso, media y talón del pie.

Nivel de Tensión generados				
Tabla N°	**Conexión**	**Forma geométrica**	**Fuerza (N)**	**Tensión LabVIEW (V)**
16	serie	Cuadrada	402.14(N)	16,18
		Rectangular		1.12
	paralelo	Cuadrada		0,75
		Rectangular		6,08
	mixta	Cuadrada		6,96
		Rectangular		5,35

Elaborado por: El Autor**.**

Tabla 20.- Valores promedio simulados en baldosas cuadrada y rectangular, al pisar 1 piezoeléctricos: talón del pie.

Nivel de Tensión generados				
Tabla N°	**Conexión**	**Forma geométrica**	**Fuerza (N)**	**Tensión LabVIEW (V)**
17	serie	Cuadrada	402.14(N)	14,95
		Rectangular		1,12
	paralelo	Cuadrada		0,40
		Rectangular		4,78
	mixta	Cuadrada		7,30
		Rectangular		4,45

Elaborado por: El Autor**.**

Tabla 21.- Valores promedios de las tablas 15, 16, 17.

Nivel de Tensión generados				
Tabla N°	**Conexión**	**Forma geométrica**	**Fuerza (N)**	**Tensión LabVIEW (V)**
15	serie	Cuadrada	402.14(N)	15,64
		Rectangular		0,94
16	paralelo	Cuadrada		0,60
		Rectangular		5,49
17	mixta	Cuadrada		7,13
		Rectangular		4,72

Elaborado por: El Autor**.**

Medición de los niveles de Tensión, en conexiones serie, paralelo y mixto de cada una de las posibilidades de pisada estándar en baldosas cuadrada y rectangular.

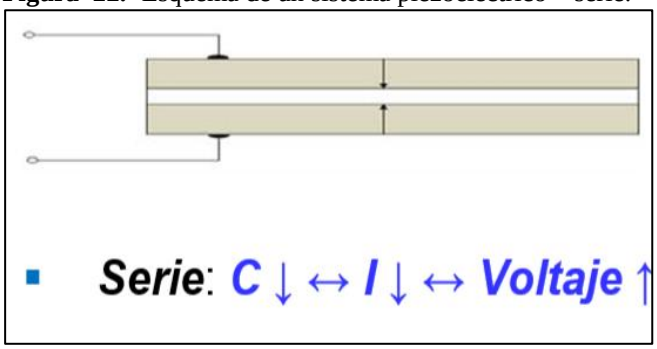
Tipo de conexión

Se considera realizar el estudio comparativo del nivel de energía en una conexión mixta para determinar cuáles son sus posibles resultados con respecto a las conexiones serie y paralelo de nuestro sistema.

Conexión serie del piezoeléctrico

Un circuito serie la tensión total es igual a la suma de todas las fuentes conectadas en serie (V Total = V1 + V2 +.... Vn), Sobre el circuito discurre una única corriente, esto es, todos los componentes del circuito son recorridos por la misma corriente o intensidad (I total = I1 = I2), La resistencia total es la suma de todas las resistencias (R Total = R1 + R2... Rn), La capacidad total es la suma de la inversa de las capacidades del circuito (1 / C Total = 1 / C1 + 1 / C2.... 1 / Cn), dadas en la Figura 22, (Ing. Adolfo F., 2009).

Figura 22.- Esquema de un sistema piezoeléctrico – serie.



Fuente: (Ing. Adolfo F., 2009).

Para el proceso experimental de conexión en serie, se utilizará un total de 9 piezoeléctricos por baldosa, se realizó el siguiente procedimiento:

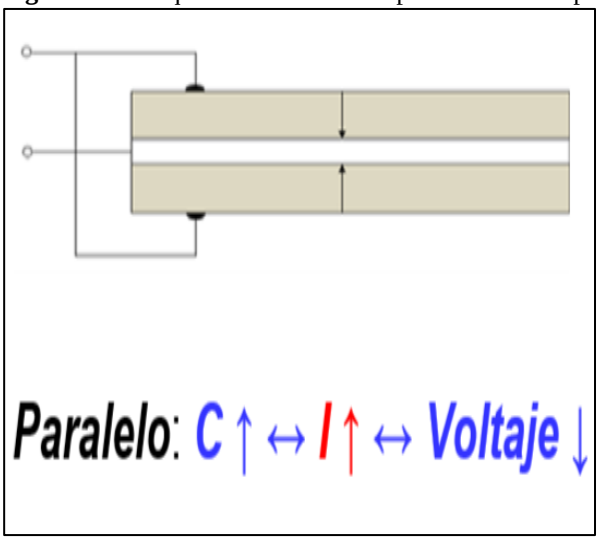
- El tipo de conexión es en conjunto de 3 hileras horizontales y 3 hileras verticales.
- Todo el conjunto de baldosa está constituido por 9 elementos piezoeléctricos.

Conexión paralelo del piezoeléctrico

En la Figura 23, la tensión total es igual a el valor de la fuente de alimentación (V Total = V fuente), la corriente total en un circuito paralelo se suma (I total = I1 + I2…In), La resistencia total es la suma de la inversa todas las resistencias (1 / R Total = 1/R1 + 1/R2...+ 1/Rn), La capacidad total es la suma de todas las capacidades del circuito, vemos que ahora los cálculos

se invierten respecto de los de un circuito serie (C Total = C1 + C2.... + Cn) (Ing. Adolfo F., 2009).

Figura 23.- Esquema de un sistema piezoeléctrico – paralelo.



Fuente: (Ing. Adolfo F., 2009).

En esta prueba la tabla 22, 23, 24, se ejerció una fuerza de 402.07 (N) para la baldosa cuadrada y rectangular, obteniendo los siguientes resultados en Tensión volts promedio, tomando en consideración que estos datos fueron tomados con ayuda del instrumento de medición, de tal manera poder obtener el nivel de comparación de energía producida por los dispositivos piezoeléctricos.

Tabla 22.- Datos obtenidos de la simulación con una fuerza constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada y rectangular, presionando 2 piezoeléctricos: en la zona dedos y metatarso del pie.

Baldosa cuadrada	**Serie**	**Paralelo**	**Mixto**	**Baldosa rectangular**	**Serie**	**Paralelo**	**Mixto**
Medición	**Tensión(V)**			**Medición**	**Tensión(V)**		
1	16,33	0.34	5,43	1	7,15	0.76	6,33
2	18,09	0.55	14,52	2	4,18	0.97	6,11
3	14,02	0,48	9,34	3	7,21	0,56	5,89
4	18,07	0,52	4,36	4	7,24	0,60	5,67
5	13,52	0.86	7,88	5	6,27	0.8	5,45
6	10,83	0.47	5,63	6	6,29	0.31	5,23
7	18,25	0,58	3,88	7	6,32	0,53	5,01
8	19,82	0,56	9,16	8	6,35	0,51	4,79
9	13,44	0,53	8,72	9	6,38	0,50	4,57
10	17,5	0,55	6,43	10	6,41	0,49	4,35
PROMEDIO	**15,99**	**0,54**	**7,54**	**PROMEDIO**	**6,38**	**0,53**	**5,34**

Elaborado por: El Autor.

Tabla 23.- Datos obtenidos de la simulación con una fuerza constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada y rectangular, presionando 3 piezoeléctricos: dedos, metatarso, media y talón.

Baldosa cuadrada	Serie	Paralelo	Mixto	Baldosa rectangular	Serie	Paralelo	Mixto
Medición	**Tensión(V)**			**Medición**	**Tensión(V)**		
1	17,45	0,76	4,54	1	1,22	5,76	4,84
2	16,55	0.97	5,61	2	0,60	6,40	4,95
3	16,61	0.118	5,37	3	0,50	6,46	4,87
4	16,68	0,77	5,12	4	0,41	6,51	4,80
5	16,75	0,81	4,88	5	0,31	6,57	4,73
6	16,81	0.49	4,63	6	0,22	6,63	4,66
7	16,88	0.30	4,39	7	0,12	6,69	4,58
8	16,95	0,74	4,15	8	0,03	6,75	4,51
9	17,01	0,72	3,90	9	-0,06	6,81	4,44
10	17,08	0,71	3,66	10	-0,16	6,86	4,37
PROMEDIO	**16,88**	**0,75**	**4,63**	**PROMEDIO**	**0,32**	**6,54**	**4,68**

Elaborado por: El Autor.

Tabla 24.- Datos obtenidos de la simulación con una fuerza constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada y rectangular, presionando 1 piezoeléctrico, talón del pie.

Baldosa cuadrada	Serie	Paralelo	Mixto	Baldosa rectangular	Serie	Paralelo	Mixto
Medición	**Tensión(V)**			**Medición**	**Tensión(V)**		
1	13,3	0.64	5,8	1	0,6	6,4	4,9
2	13,0	0.85	5,6	2	0,5	6,5	4,9
3	12,7	0,5	5,3	3	0,4	6,5	4,8
4	12,5	0,6	5,0	4	0,3	6,6	4,7
5	12,2	0.0	4,8	5	0,2	6,6	4,7
6	11,9	0.39	4,5	6	0,1	6,7	4,6
7	11,6	0,3	4,3	7	0,0	6,7	4,5
8	11,3	0,3	4,0	8	-0,1	6,8	4,4
9	11,0	0,2	3,7	9	-0,2	6,9	4,4
10	10,7	0,2	3,5	10	-0,3	6,9	4,3
PROMEDIO	**12,02**	**0,35**	**4,65**	**PROMEDIO**	**0,15**	**6,66**	**4,62**

Elaborado por: El Autor.

Con la serie de valores obtenidos de la tabla 22, 23, 24, se procede a realizar la media aritmética (promedio), para determinar estadísticamente cual es el valor de tensión que genera un material piezoeléctrico.

Tabla 25.- Valores promedio simulados en baldosas cuadrada y rectangular, al pisar 2 piezoeléctricos: dedos y metatarso del pie.

Nivel de Tensión generados				
Tabla N°	**Conexión**	**Forma geométrica**	**Fuerza (N)**	**Tensión(V)**
22	serie	Cuadrada	402.07(N)	**15,99**
		Rectangular		**6,38**
	paralelo	Cuadrada		**0,54**
		Rectangular		**0,53**
	mixta	Cuadrada		**7,54**
		Rectangular		**5,34**

Elaborado por: El Autor**.**

Tabla 26.- Valores promedio simulados en baldosas cuadrada y rectangular, al pisar 3 piezoeléctricos: dedos, metatarso, media y talón del pie.

Nivel de Tensión generados				
Tabla N°	**Conexión**	**Forma geométrica**	**Fuerza (N)**	**Tensión(V)**
23	serie	Cuadrada	402.07(N)	**16,88**
		Rectangular		**0,32**
	paralelo	Cuadrada		**0,75**
		Rectangular		**6,54**
	mixta	Cuadrada		**4,63**
		Rectangular		**4,68**

Elaborado por: El Autor**.**

Tabla 27.- Valores promedio simulados en baldosas cuadrada y rectangular, al pisar 1 piezoeléctricos: talón del pie.

Nivel de Tensión generados				
Tabla N°	**Conexión**	**Forma geométrica**	**Fuerza (N)**	**Tensión(V)**
24	serie	Cuadrada	402.07(N)	**12,02**
		Rectangular		**0,15**
	paralelo	Cuadrada		**0,35**
		Rectangular		**6,66**
	mixta	Cuadrada		**4,65**
		Rectangular		**4,62**

Elaborado por: El Autor**.**

Tabla 28.- Valores promedios de las tablas 22, 23, 24.

Nivel de Tensión generados				
Tabla N°	**Conexión**	**Forma geométrica**	**Fuerza (N)**	**Tensión(V)**
22	serie	Cuadrada	402.07(N)	**14,96**
		Rectangular		**2,28**
23	paralelo	Cuadrada		**0,55**
		Rectangular		**4,58**
24	mixta	Cuadrada		**5,61**
		Rectangular		**4,88**

Elaborado por: El Autor**.**

Medición de la intensidad de corriente, potencia y energía en los diferentes tipos de conexiones en baldosas cuadrada y rectangular.

Pruebas de corriente al piso generador de energía eléctrica

El cálculo proporcional total de la corriente, se determina con una serie de datos obtenidos mediante una resistencia de carga con un valor alto y conectada en serie, el instrumento de medición que dota de toda esta información es el multímetro en función de amperímetro para registrar la corriente obtenida en la conexión paralelo, de la forma cuadrada y rectangular.

Se estable utilizar una resistencia de $8.2M\Omega$, el valor de esta resistencia es considera de dato de fabricante y recomendado por el fabricante para realizar pruebas de corriente en los elementos piezoeléctricos (Perez Erick, 2016).

A continuación se procede a realizar las pruebas de corriente en la tabla 29 y 30, para la forma geométrica cuadrada y rectangular con la conexión en paralelo, teniendo en cuenta que se desea sumar el valor de la corriente para poder determinar la potencia y energía generada, de tal manera cumplir con el análisis comparativo del nivel de energía eléctrica producida por los dispositivos piezoeléctricos.

Tabla 29.- Nivel de intensidad de corriente medida en conexión en paralelo para la baldosa cuadrada.

Nivel de intensidad de corriente					
Serie		**Paralelo**		**Mixta**	
Medición	**Corriente I** (μA)	**Medición**	**Corriente I** (μA)	**Medición**	**Corriente I** (μA)
1	1,01	11	2,01	21	3
2	2,11	12	2,99	22	2,25
3	1,63	13	2,66	23	2
4	2,12	14	2,06	24	2,45
5	2,56	15	2,1	25	2,04
6	1,99	16	2,66	26	1,99
7	2,01	17	1,99	27	2,41
8	2,99	18	2,4	28	2,01
9	2,55	19	2,7	29	1,99
10	2,4	20	2,41	30	2,74
Promedio	**2,14**	**Promedio**	**2,40**	**Promedio**	**2,29**

Elaborado por: El Autor.

Tabla 30.- Nivel de intensidad de corriente medida en conexión en paralelo para la baldosa rectangular.

Nivel de intensidad de corriente					
Serie		**Paralelo**		**Mixta**	
Medición	**Corriente I** (μA)	**Medición**	**Corriente I** (μA)	**Medición**	**Corriente I** (μA)
1	0,46	1	2,64	1	1,22
2	1,24	2	1,55	2	1,11
3	0,4	3	1,23	3	1,21
4	0,35	4	1,19	4	1,01
5	0,13	5	1,45	5	1,02
6	0,54	6	1,12	6	1,76
7	0,89	7	1,18	7	1,09
8	1,36	8	1,19	8	1,07
9	0,58	9	1,45	9	1,04
10	0,55	10	1,09	10	1,51
Promedio	**0,65**	**Promedio**	**1,41**	**Promedio**	**1,20**

Elaborado por: El Autor.

Con la serie de valores obtenidos se procede a realizar la media aritmética (promedio) en la tabla 31, para identificar estadísticamente cual es el valor de corriente que genera el piso.

Tabla 31.- Valores promedios de las tablas 29 y 30.

Nivel de Tensión generados				
Tabla N°	**Conexión**	**Forma geométrica**	**Fuerza (N)**	**Corriente I** (μA)
29	serie	Cuadrada	402.07(N)	**2,14**
30		Rectangular		**0,65**
29	paralelo	Cuadrada		**2,40**
30		Rectangular		**1,41**
29	mixta	Cuadrada		**2,29**
30		Rectangular		**1,20**

Elaborado por: El Autor.

Teniendo como resultado, valores promedios máximos de: conexión paralelo (baldosa cuadrada)= $2,4\mu A$, y en la conexión en paralelo (baldosa rectangular) = $1,41\mu A$.

Simulación de los niveles de tensión promedio, en conexiones serie, paralelo y mixto de cada una de las posibilidades de pisada estándar en baldosas cuadrada y rectangular.

Tipo de lenguaje de comunicación

En la versión Arduino 1.8.3, nos permite demostrar el leguaje de comunicación serie que tiene esta para compaginar con el programa de simulación.

El Arduino nano es uno de los elementos que se utiliza para trabajar y me permite guardar toda la programación, también utilizaremos un módulo KY0138 su respectiva especificación se encuentra en el anexo del proyecto (Ing. Adolfo F., 2009).

El módulo KY0138 es utilizado para vincular con el Arduino, este módulo electrónico cuenta con tres salidas son positiva, negativa y señal analógica (+, -, s); el nivel de voltaje que debe ingresar es de 5v permitidos, la señal nos permite arrojar valores que interpreten nuestros programas para la respectiva simulación y de esta manera puedan ser interpretados los niveles voltajes arrojados por las baldosas piezoeléctricas (Gonzalez Diaz, 2017).

En el proceso de modelación tomamos en cuenta una base de datos obtenida por el programa de simulación, este proceso va a determinar dos valores de entrada en tiempo real de la señal analógica que envía el piezoeléctrico, se considera que este simulador va a trabajar con las dos formas geométricas (cuadrada y rectangular).

Se observa en el programa de simulación la diferencia de la baldosa piezoeléctrica cuadrada y rectangular, con sus diferentes niveles valores de tensión generada.

A continuación, se realizara la toma de datos de la siguiente manera:

- Recopilación de datos en tiempo real (Programa de simulación)

En esta segunda prueba la tabla 10.25, se ejerció una fuerza de 402.07 (N) por pisada, para la baldosa cuadrada y rectangular, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 10. 1.- Valores promedios de las tablas simulado (15, 16, 17) y Medido (22, 23, 24).

Nivel de Tensión generados					
Tabla N°	**Conexión**	**Forma geométrica**	**Fuerza (N)**	**Tensión Simulado(V)**	**Tensión Medido (V)**
15	serie	Cuadrada	402.07(N)	**15,64**	**14,96**
22		Rectangular		**0,94**	**2,28**
16	paralelo	Cuadrada		**0,60**	**0,55**
23		Rectangular		**5,49**	**4,58**
17	mixta	Cuadrada		**7,13**	**5,61**
24		Rectangular		**4,72**	**4,88**

Elaborado por: El Autor**.**

Comparación de los niveles de tensión, intensidad de corriente, de las conexiones, serie, paralelo y mixto en baldosas cuadrada y rectangular.

Tabla 32.- Nivel de comparación de los valores totales obtenidos de la tensión generada, en la baldosa cuadrada y rectangular.

Tensión Generada (Volts)					
Cuadrada	**Tensión Simulado(V)**	**Tensión Medido (V)**	**Rectangular**	**Tensión Medido (V)**	**Tensión Simulado(V)pi**
Serie	15,64	14,96	**Serie**	0,94	2,28
Paralelo	0,60	0,55	**Paralelo**	5,49	4,58
Mixta	7,13	5,61	**Mixta**	4,72	4,88

Elaborado por: El Autor.

Tabla 33.- Nivel de comparación de los valores totales obtenidos de intensidad de corriente generada, en la baldosa cuadrada y rectangular.

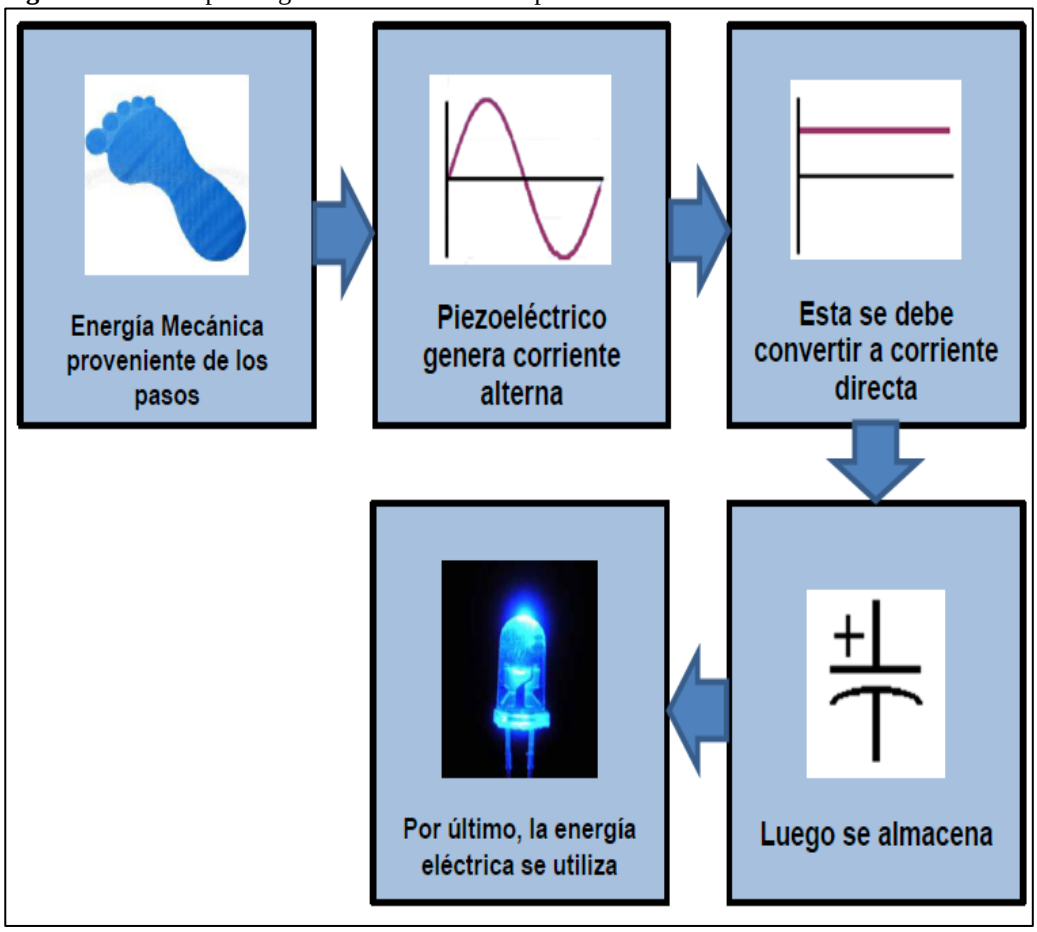
Intensidad de Corriente Generada (μA)			
Cuadrada	**Valor medido**	**Rectangular**	**Valor medido**
Paralelo	$2,40\mu A$	**Paralelo**	$1,21\mu A$

Elaborado por: El Autor.

Diseño del sistema electrónico para transmitir y almacenar la energía generada por el piezoeléctrico

Cuando se usan materiales piezoeléctricos para recoger energía de los alrededores, es necesario que la energía que será usada, sea primero almacenada. Sin que se acumule una cantidad significante de energía. En la figura 24, se puede observar el principio de generación eléctrica para nuestro caso en particular, cabe anotar que el esquema fue rediseñado (Gonzalez Diaz, 2017).

Figura 24.- Principio de generación del material piezoeléctrico.

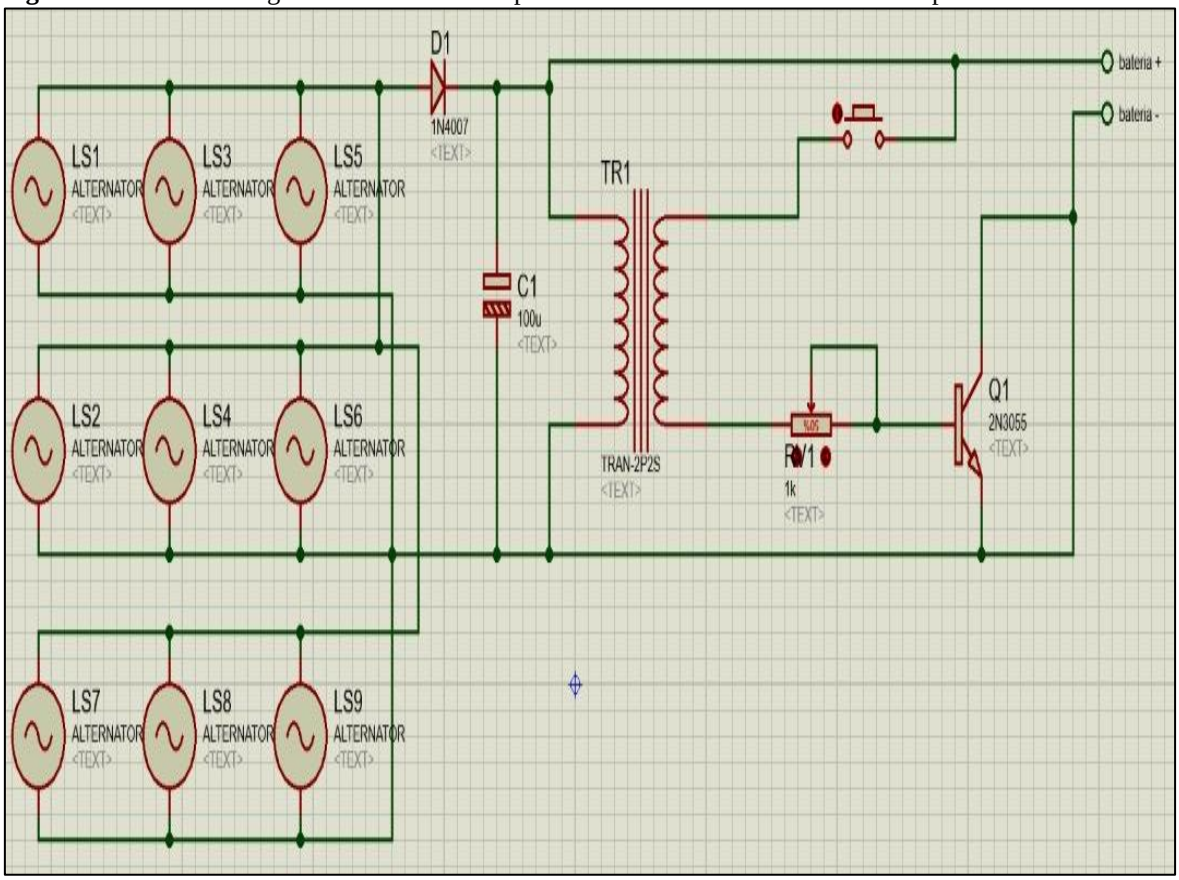


Fuente: (Gonzalez Diaz, 2017).

Circuito para transmitir la energía generada por el piezoeléctrico y almacenamiento

En la figura 25, se plantea usar el circuito elevador de voltaje, el cual está diseñado específicamente para el almacenamiento de energía mediante piezoeléctrico. El circuito electrónico, posee un 2N3055 es un transistor de potencia que permite regular el voltaje dado o entregado por el ladrón de Joules donde se eleva el voltaje del piezoeléctrico, una batería LGDAS 31865 de litio- ion ayuda almacenar la energía entregada.

Figura 25.- Circuito de generación electrónica para almacenamiento de los elementos piezoeléctricos.



Elaborado por: El Autor.
Fuente:(Gonzalez Diaz, 2017).

En el circuito electrónico elevador de voltaje de la figura 25, tiene un transistor de ultra baja corriente, el cual, mediante una amplia ventana de histéresis, permite que la carga que se genera se acumule en la batería de litio- ion, hasta que pueda transferir eficientemente una porción de la carga generada a la salida. La salida del circuito electrónico se puede regular para que entregue 1,8V, 2,5V, 3,3V o 3,6V dependiendo de la necesidad del usuario. Para este caso, se usara la salida regulada de 3,6 V.

11.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para el análisis comparativo del funcionamiento de las baldosas piezoeléctricas acorde a la forma geométrica se realizó la distribución de sus cargas emitidas a las baldosas a utilizar, el análisis de resultados se realizara mediante 3 programas de simulación:

- Análisis de fuerzas distribuidas en la baldosa piezoeléctrica.
- Configuración programable mediante un lenguaje serie.
- Toma de datos en tiempo real mediante la amplitud de la gráfica generada.

Análisis y comprobación de la hipótesis

El prototipo desarrollado a lo largo de este proyecto permite realizar un estimado del costo del piso generado de energía con piezoeléctricos y de igual manera el cálculo de la tensión, corriente y potencia obtenidos para determinada carga.

Si se implementa el piso generador de energía a la entrada del Club de robótica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, considerando la superficie de la entrada de largo 210cm y ancho 60cm, se utilizaran un total de 14 baldosas piezoeléctricas de piso generador de energía eléctrica.

Tomando en cuenta la tensión y corriente promedio generado por una baldosa piezoeléctrica de piso generado de energía, para la superficie antes mencionada, se conectarían en paralelo de manera que la tensión permanece constante y la corriente se suma.

En la tabla 34 y 35, se detalla el análisis comparativo del nivel de energía producida por cada una de las dos baldosas piezoeléctricas (cuadrada y rectangular) tomadas en tiempo real, los resultados obtenidos fueron generados por el multímetro y el programa simulador.

Tabla 34.- Resultados de niveles de voltaje generado en la forma geométrica cuadrada.

Tipo de conexión adecuada	Forma geométrica	Nivel de Voltaje Generado (v)
Serie	Cuadrada	**15,64**
Paralelo		**0,60**
Mixta		**7,13**

Elaborado por: El Autor.

Tabla 35.- Resultados de niveles de voltaje generado en la forma geométrica rectangular.

Tipo de conexión adecuada	Forma geométrica	Nivel de Voltaje Generado(v)
Serie	Rectangular	**0,94**
Paralelo		**5,49**
Mixta		**4,72**

Elaborado por: El Autor.

En manera de resultados finales obtenidos se considera lo siguiente:
Para el uso correspondiente de la baldosa estudiamos las dos diferentes formas geométricas (cuadrada y rectangular) para la obtención de potencia eléctrica:

Nivel de comparación de la Potencia Eléctrica en la baldosa cuadrada y rectangular, entregada por diferentes puntos ejercidos hacia los dispositivos piezoeléctricos, dados en la tabla 36.

Tabla 36.- Niveles de voltaje (Tensión promedio), Intensidad de corriente y Potencia Eléctrica calculada.

Potencia Eléctrica Generada	
CUADRADA	**RECTANGULAR**
$V_{promedio} Serie = 15,64V$ $I_{promedio} paralelo = 2,40\mu A$ $I_{total} = (2,40\mu A)(14_{ValdosasPiezoeléctricas})$ $I_{total} = 33,6*10^{-6}$ $P = V*I$ $P = (15,64V)(33,6*10^{-6})$ $Potencia_{eléctrica} = 5,25mW$	$V_{promedio} paralelo = 5,49\ V$ $I_{promedio} paralelo = 2,40\mu A$ $I_{total} = (2,40\mu A)(14_{ValdosasPiezoeléctricas})$ $I_{total} = 33,8*10^{-6}$ $P = V*I$ $P = (5,49\ V)(33,6*10^{-6})$ $Potencia_{eléctrica} = 1,84mW$

Elaborado por: El Autor.

Una vez obtenido los dos resultados la baldosa piezoeléctrica cuadrada tiene un valor de $Potencia_{eléctrica} = 5,25mW$, y la baldosa piezoeléctrica rectangular con un valor promedio de potencia generada $Potencia_{eléctrica} = 1,84mW$, de acuerdo a estos datos obtenidos el análisis con la baldosa generadora de energía piezoeléctrica de forma cuadrada es la mejor con su potencia generada.

El monto estimado utilizando la baldosa piezoeléctrica cuadrada tiene un costo de $100,00 para cubrir el área de lardo 210cm y 60cm, de ancho sería de $1400,00.

La potencia generada se ve incrementada debido al aumento de afluencia de personas, en promedio, durante una hora pico en el Club de Robótica de la Universidad Técnica de Cotopaxi,

en el área de entrada arriban los miembros en intervalos 150 seg, por lo que cada miembro genera:

$$Energía_{eléctrica} = 2(5,25mW)(150s)$$
$$Energía_{eléctrica} = 1,58mW * s$$

Se realiza el cálculo de la potencia eléctrica que se genera en la entrada del Club de Robótica de la Universidad Técnica de Cotopaxi a lo largo de todo el día de servicio, aproximadamente el arribo de cada persona es de 2:30 minutos. De esta manera podemos aproximar que en una hora se presentan 24 arribos al Club de robótica.

El horario que proporciona la institución es de 8:00 am a las 19:00 pm. Siendo un total de 11 horas de servicio con ello obtenemos:

$$(24\ arribos\ al\ Club\ de\ Robotica)(11\ horas) = 264arribos$$
$$(264arribos)(1,58W * seg) = 417,12W * seg$$
$$Potencia_{eléctrica} = \frac{417,12W * seg}{150seg} = 2,78W$$

Una vez obtenida la energía eléctrica es almacenada en un dispositivo acumulador de energía visto en la Figura 25.

La capacidad de energía de carga en este dispositivo va a depender del concurrir de gente que visite o transite el Club de robótica, lo cual la batería es de carga máxima es de 3,7 v con una corriente de 2200mah, figura 16,11 (Merino Alvarado, 2013).

Una vez almacenada la energía eléctrica en el dispositivo acumulador de energía usarse en pequeñas cargas como lámparas de leds (diodos emisores de luz) y en el caso de la propuesta en el Club de robótica podrá encender los puestos de trabajo que realizan dentro del lugar que se realiza el estudio de campo.

12.- IMPACTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Impacto técnico

Es un proyecto relevante en el cual se encuentra inmersas áreas de la ingeniería como energía mecánica, diseño de resistencia de materiales, circuitos eléctricos, simuladores matemáticos, ocupando mucha fundamentación teóricos de estas áreas para el diseño del prototipo.

Impacto ambiental

Mediante el aprovechamiento ambiental tomamos en cuenta el lugar de estudio ya que los pasos que generan las personas pueden ser aprovechados y estos puedan generar energía y no solo mediante la energía convencional.

Impacto social

Este proyecto de investigación con un estudio primordial de ingeniería en energías renovables para la obtención de energía eléctrica mediante el proceso de la energía mecánica, se considera que a mediano o largo plazo puede conllevar una nueva metodología para la obtención de energía y esta pueda ser de un gran aporte en su estudio comparativo.

Impacto económico

El proyecto de investigación tiene como iniciativa aprovechar el movimiento mecánico que proporcionan las personas para la generación de electricidad, con ello se realiza el estudio del tipo de proceso de obtener energía a un bajo costo monetario y de esta manera podremos construir nuestro prototipo.

13.- PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÒN DEL PROYECTO

Tabla 37.- Presupuesto para la elaboración.

PRESUPUESTO DEL PROYECTO				
ELEMENTOS PARA LA GENERACION DE ELECTRICIDAD				
DESCRIPCIÓN	**CANTIDAD**	**UNIDAD DE MEDIDA**	**PRECIO UNITARIO**	**TOTAL**
Acero dulce de 3mm	3	Metros	$ 1,83	$ 5,49
MDF de 15 mm	1	Unidad	6,00	6,00

de 30*90				
Elemento piezoeléctrico, 27mm (AB2720B)	18	Unidad	0,50	4,50
Acrílico de 3mm De 30*90	1	Unidad	9,00	9,00
Cable gemelo # 28 AWG	10	Metros	0,40	4,00
Conector hembra 36 pines	2	Unidad	0,75	0,75
			TOTAL	29,74

COSTO INDIRECTOS COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN

CANTIDAD	**DESCRIPCION**	**TOTAL**
1	Internet	$ 5,00
2	Impresiones	20,00
1	Materiales indirectos	14,20
3	Transporte	20,00
4	Alimentación	30,00
5	Imprevistos	10,00
	TOTAL	$ 99,20

MODULO DE COMPROBACION

UNIDAD DE MEDIDA	**CANTIDAD**	**PRECIO UNITARIO**	**PRECIO TOTAL**
Arduino nano + cable	1	6,50	6,50
Capacitador 100 ufa 25v	1	0,30	0,30
Diodo led	1	0,15	0,15
Resistencia de 1kohmios	1	0,10	0,10
Módulo KY 0138	1	6,00	6,00
Paquete cable macho y hembra para Arduino	2	3,00	6,00
Pulsadores	1	0,50	0,50
Conectores para Arduino	3	0,50	1,50
Caja de impresión 3D	1	10,00	10,00
		TOTAL	$ 31,05

COSTO TOTAL DE MATERIALES		
DESCRIPCION	**PRECIO UNITARIO**	**TOTAL**
ELEMENTOS PARA LA GENERACION DE ELECTRICIDAD	$ 29,74	$ 29,74
MODULO DE COMPROBACION	31,05	31,05
	TOTAL	$ 60,79

MANO DE OBRA		
CANTIDAD	**DESCRIPCION**	**TOTAL**
1	Soldadura	$ 20,00
2	Pintura	7,00
3	Diseño caja 3D	7,00
4	Diseño corte en acrílico	3,00
5	Programación	60,00
	TOTAL	$ 97,00

Elaborado por: El Autor.

14.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Mediante el funcionamiento del prototipo se pudo crear la condición para la generación de electricidad en bajo consumo mediante el uso de la baldosa cuadrada y rectangular, con la implementación de 9 dispositivos piezoeléctricos en cada una de ellas.
- La determinación de la forma geométrica fue en base al estudio de campo realizado en todo el campus de la matriz de la Universidad Técnica de Cotopaxi, donde se determinó que la baldosa cuadrada tiene un porcentaje de (61,52%) y rectangular (38,48%).
- Mediante el uso del simulador se determinó el área total de la superficie que abarca por pisada, teniendo como referencia las medidas estándar del pie del ser humano que son: Área de la pisada del ser humano estándar: $(300*100)mm^2$, Área total de la baldosa cuadrada: $900cm^2$.
- Los valores obtenidos de la investigación dan como resultado la potencia generada por pisada en una conexión en serie de una baldosa cuadrada tiene como resultado

$Potencia_{eléctrica} = 5,25\mu W$, en una conexión en serie de una baldosa rectangular tiene como resultado la potencia generada por pisada $Potencia_{eléctrica} = 1,84\mu W$.

Recomendaciones

- Incentivar propuestas para promover el desarrollo de nuevos trabajos de investigación relacionados con las energías alternativas (piezoeléctricas).
- Realizar nuevos estudios en los procesos de generación con los elementos piezoeléctricos y sus diferentes aplicaciones que pueda tener en el medio laboral.
- Para una mayor adquisición de generación se recomienda utilizar sistemas de almacenamiento cuales puedan almacenar toda la energía y puedan ser ocupados en elementos electrónicos de bajo consumo.
- El mantenimiento que requiere es mínimo y consiste únicamente en reemplazar la pieza deteriorada, se considerada a que el gasto de instalación puede ser mínima ya que se realizaría una sola vez, esto hace que sea una fuente de generación alterna – limpia y práctica.

15.- BIBLIOGRAFÍA

Bustillos Chicaiza , H. F., & Simbaña Quinsasamín, F. D. (26 de Octubre de 2017). Bitstream. Obtenido de https://repositorio.espe.edu.ec.

Cardozo Gutiérrez, N. K., & Tamayo Zapata, D. A. (27 de 10 de 2016). Bdigital. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.ec.

Angulo, G. (2017). researchgate. Obtenido de https://www.researchgate.net.

Ayora Rivera, J. L. (Septiembre de 2017). bBtstream. Obtenido de https://repositorio.uide.edu.ec.

bdigital. (2014). unal. Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/47308/1/1128267719.2015.pdf.

Bmfcim672c. (2012). Cybertesis. Obtenido de http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/bmfcim672c/doc/bmfcim672c.pdf.

BVT_MATERIALES_N3. (s.f). Icono.fecyt. Obtenido de https://icono.fecyt.es/sites/default/files/filepublicaciones/bvt_mat_n3.pdf.

Chila Pacheco, E. L. (Enero de 2019). Bitstream. Obtenido de http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/3058/1/T-ULVR-2699.pdf.

Dielctrico. (s.f.). Electricistas. Obtenido de https://www.electricistas.cl/PDF%20electricistas/dielctrico.pdf.

Ferroelecv2. (2015). Tecnun. Obtenido de http://www4.tecnun.es/asignaturas/PFM_Mat/Prog/Ferroelecv2.pdf.

FisicaInteractiva. (s.f.). teleformacion. Obtenido de http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/sacaleE_M2/Piezoelectricidad/SalRochelle.htm.

Gómez Ullauri, D. A. (10 de Marzo de 2012). Nivel Mundial Ecuador. Obtenido de 7.- http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/1433/1/09601.pdf

Gonzalez Diaz. (Septiembre de 2017). Repositorio.unican. Obtenido de https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12581/Gonzalez%20Diaz%20Mario.pdf?sequence=1.

Heredia, A., & Bdikin, I. (14 de Febrero de 2012). La Granja. Obtenido de 6.- https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8819/1/Piezoelectricidad%20y%20ferroelectric.

Ing. Adolfo F. (2009). frm. Obtenido de http://www1.frm.utn.edu.ar/tecnologiae/apuntes/piezoelectricidad.pdf.

Marcos_Prendes_Hurtado. (24 de 02 de 2016). archivo. Obtenido de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/24108/TFG_Marcos_Prendes_Hurtado_2016.pdf.

Memoria. (04 de 07 de 2017). upcommons. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/107254/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Merino Alvarado, V. A. (Enero de 2013). Bitstream. Obtenido de http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/5883/3/Merino%20Alvarado%20Vicente%20Andr%C3%A9s.pdf.

Microsoft Word. (s.f.). Core. Obtenido de https://core.ac.uk/download/pdf/29404232.pdf.

Mosaicos, T. (s.f). torramosaicoshidraulicos. Obtenido de https://www.torramosaicoshidraulicos.es/contactar-con-mosaicos-torra/.

Museo Virtual, Geología. (2015). geovirtual2. Obtenido de https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/PDF-02-05-Cuarzo.pdf.

NanoDAYS. (13 de 09 de 2013). Nisenet. Obtenido de http://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/uploads/spanish/12194/electricsqueeze_images_13nov13_sp.pdf.

Perez Erick. (08 de 2016). ipn. Obtenido de 2.- https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/.

Porras - Soriano. (s.f.). Previa. Obtenido de https://previa.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema01.pdf.

Rodriguez . (s.f.). catarina.udlap. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/rodriguez_a_a/capitulo3.pdf.

Tesis. (09 de 2013). ptolomeo. Obtenido de http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/.

Ucatolica. (S.F.). repository. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/.

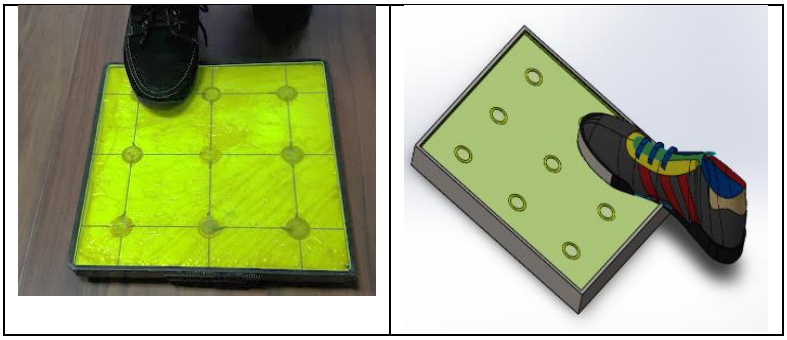
Variedades cristalinas. (s.f.). ucm. Obtenido de https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15563/Tecto%202.pdf.

Velasco, J. (septimebre de 2018). Jornadas de Automática. Obtenido Avnaze_tesis_imagenes%20matlab/5%20piezo%20978-84-09-04460-3_483.pdf.

16.- ANEXOS:

Fotografías de pisadas reales en baldosas y su respectiva simulación.

Anexo 1. Pisada con 3 dispositivos piezoeléctricos, vista isométrica real y simulada de la zona del pie (dedos-metatarso), Baldosa cuadrada.



Elaborado por: El Autor.

Anexo 2. Pisada con 2 dispositivos piezoeléctricos, vista isométrica real y simulada de la zona del pie (talón y metatarso), Baldosa cuadrada.

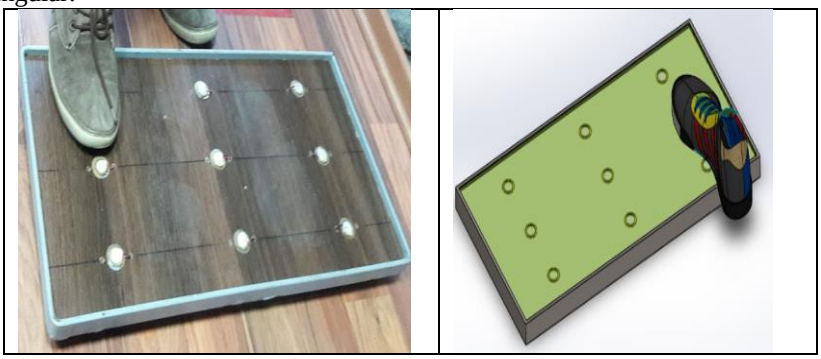
Elaborado por: El Autor.

Anexo 3. Pisada con 3 dispositivos piezoeléctricos, vista isométrica real y simulada de la zona del pie (talón, metatarso, media y punta de los dedos), Baldosa cuadrada.

Elaborado por: El Autor.

Zona del pie aplicada en una baldosa rectangular:

Anexo 4. Pisada con 3 dispositivos piezoeléctricos, vista isométrica real y simulada de la zona del pie (dedos-metatarso), Rectangular.



Elaborado por: El Autor.

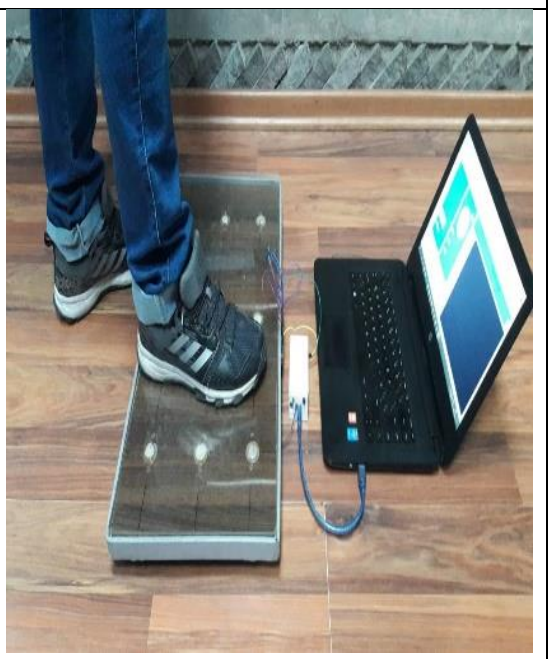
Anexo 5. Pisada con 3 dispositivos piezoeléctricos, vista isométrica real y simulada de la zona del pie (talón, metatarso, media y punta de los dedos), Rectangular.

Elaborado por: El Autor.

Anexo 6. Pisada con 3 dispositivos piezoeléctricos, vista isométrica real y simulada de la zona del pie (talón, media y metatarso), Rectangular.

Elaborado por: El Autor.

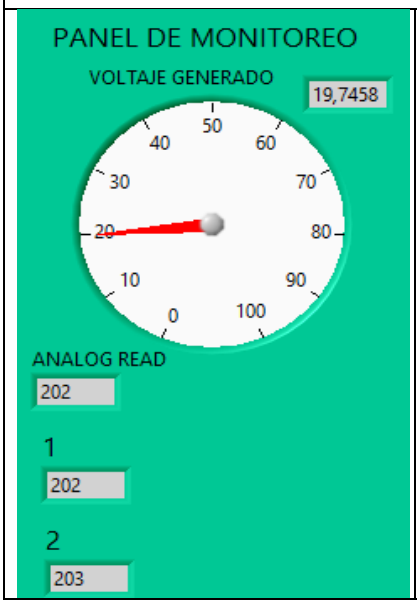
Anexo 7. Sistema de simulación en las baldosas piezoeléctricas.

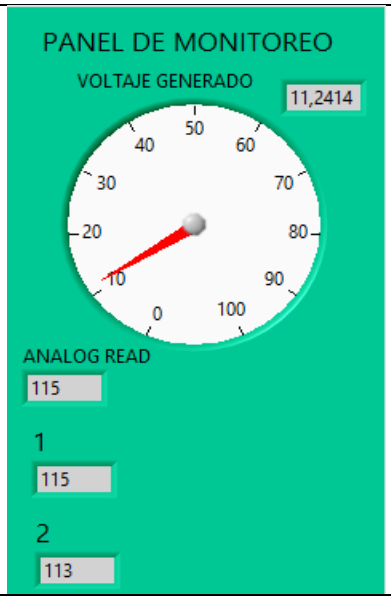
Baldosa Piezoeléctrica Cuadrada	Baldosa Piezoeléctrica Rectangular
	

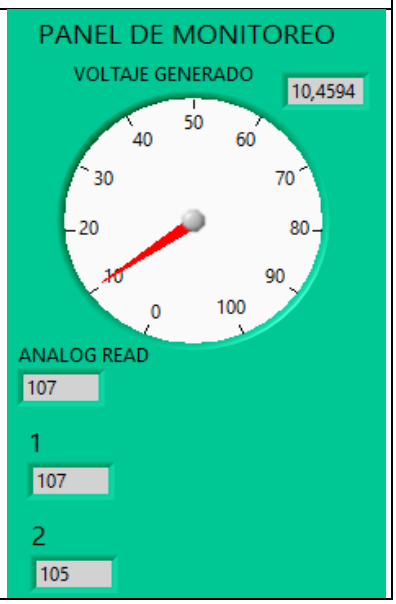
Elaborado por: El Autor.

Anexo 8. Niveles de voltaje en una baldosa cuadrada conexión en serie, aplicada a la baldosa cuadrada con un peso de 402,07 (N) por pisada.

Niveles de voltaje en una baldosa cuadrada



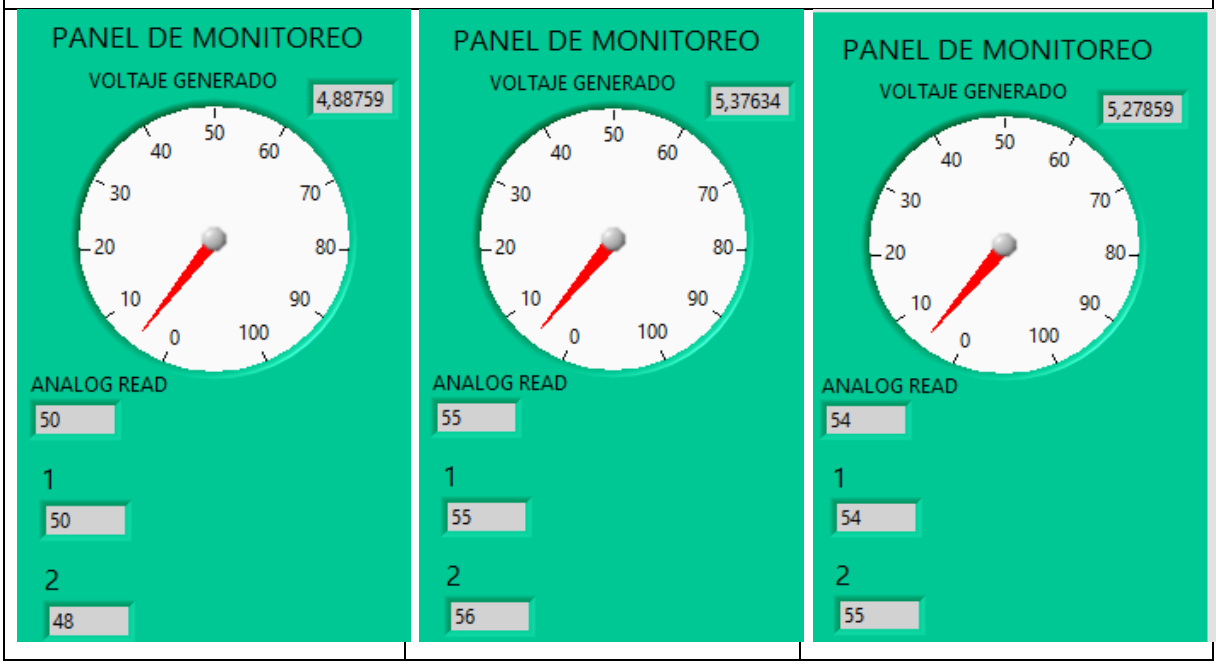




Elaborado por: El Autor.

Anexo 9. Niveles de voltaje en una baldosa cuadrada conexión en paralelo, aplicada a la baldosa cuadrada con un peso de 402,07 (N) por pisada.

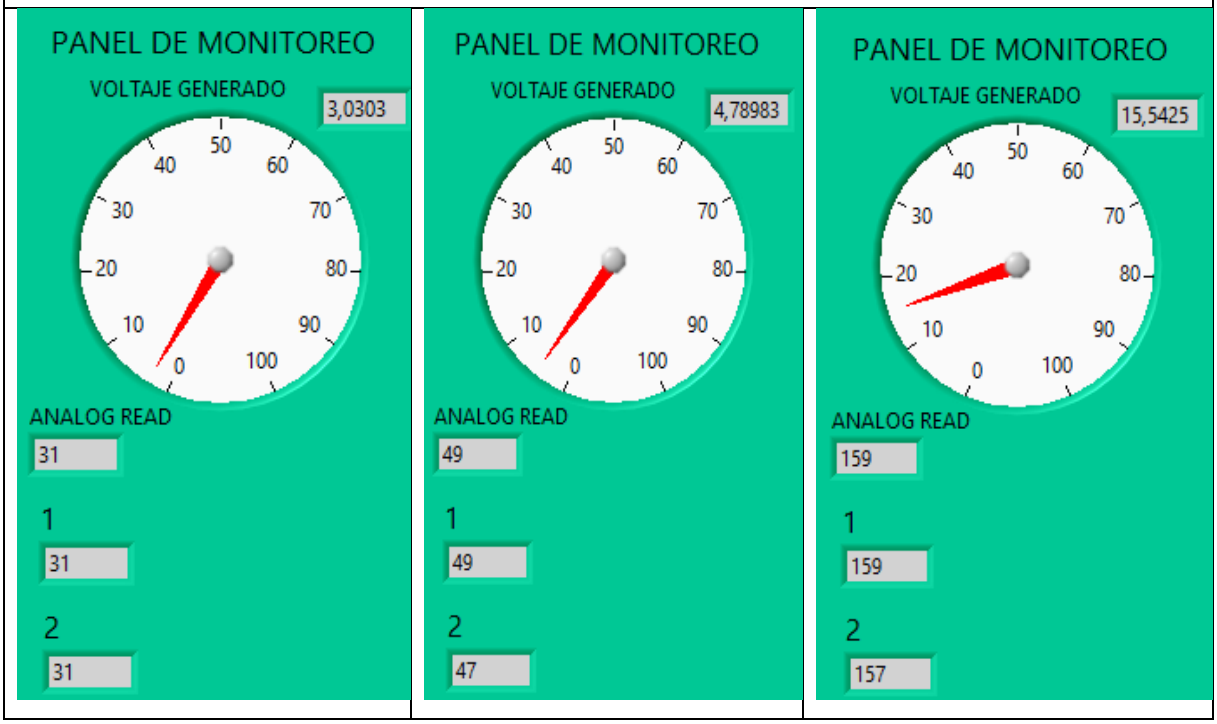
Niveles de voltaje en una baldosa cuadrada



Elaborado por: El Autor.

Anexo 10. Niveles de voltaje en una baldosa cuadrada conexión en mixta, aplicada a la baldosa cuadrada con un peso de 402,07 (N) por pisada.

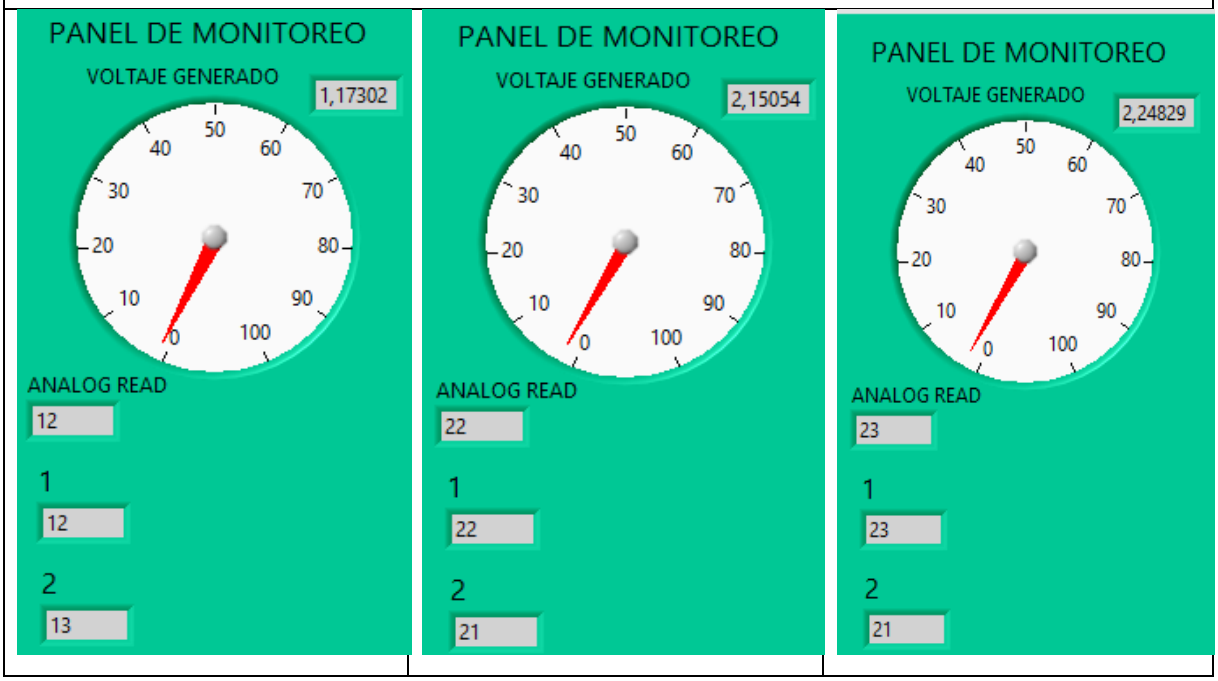
Niveles de voltaje en una baldosa cuadrada



Elaborado por: El Autor.

Anexo 11. Niveles de voltaje en una baldosa cuadrada conexión en serie, aplicada a la baldosa rectangular con un peso de 402,07 (N) por pisada.

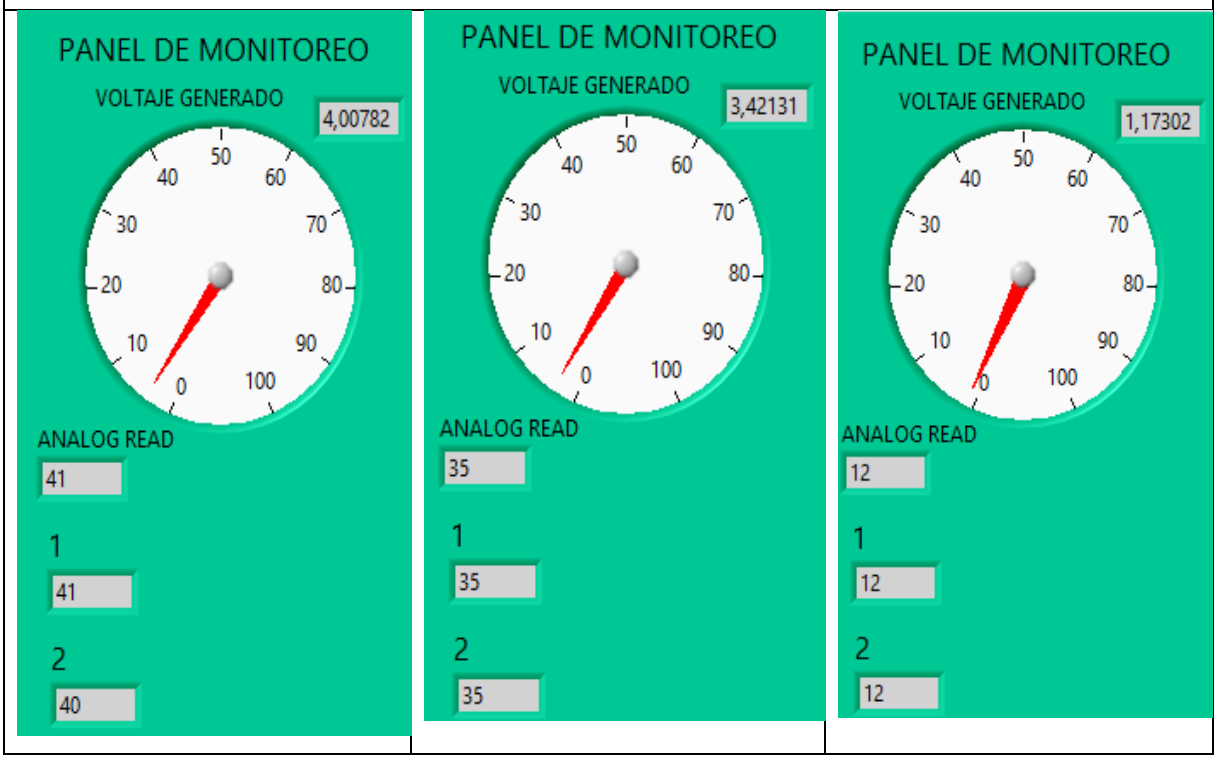
Niveles de voltaje en una baldosa rectangular



Elaborado por: El Autor.

Anexo 12. Niveles de voltaje en una baldosa cuadrada conexión en paralelo, aplicada a la baldosa rectangular con un peso de 402,07 (N) por pisada.

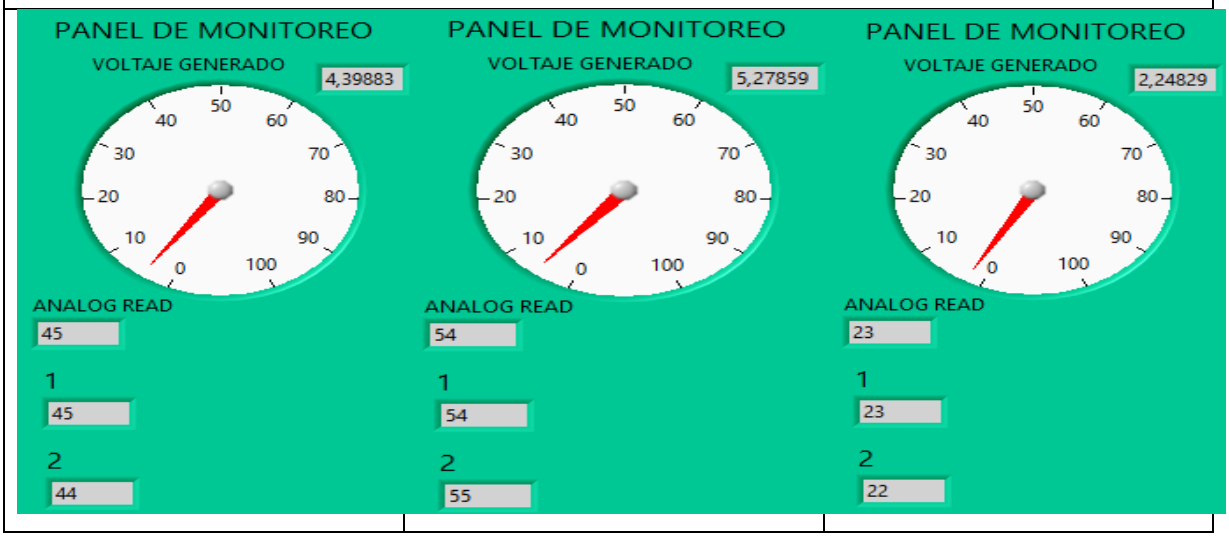
Niveles de voltaje en una baldosa rectangular



Elaborado por: El Autor.

Anexo 13. Niveles de voltaje en una baldosa cuadrada conexión en mixta, aplicada a la baldosa rectangular con un peso de 402,07 (N) por pisada.

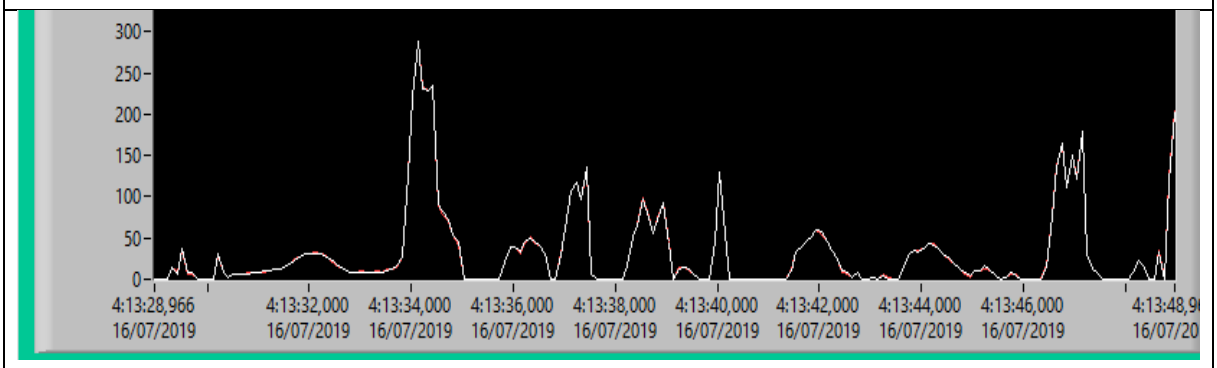
Niveles de voltaje en una baldosa rectangular



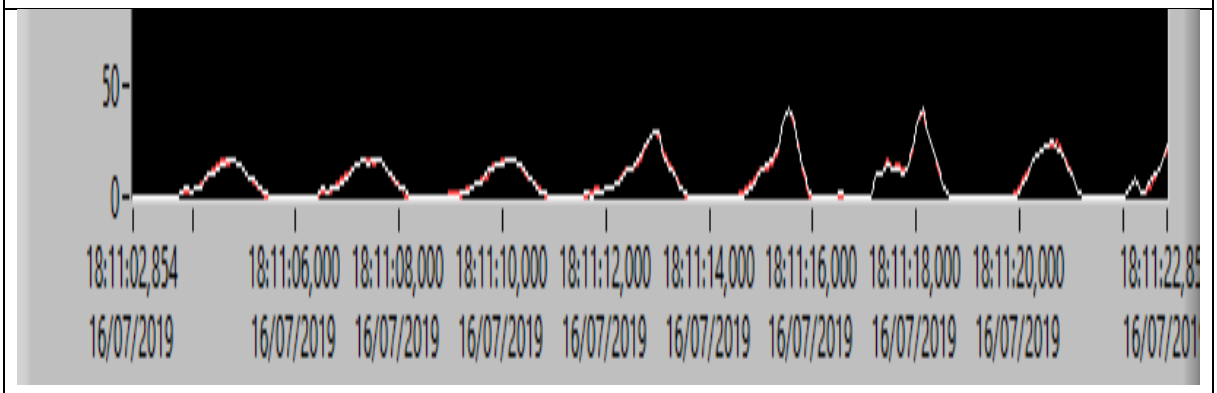
Elaborado por: El Autor.

Anexo 14. Diferencia de curva de respuesta de la baldosa piezoeléctrica cuadrada y rectangular, con conexión en serie en función de su tiempo en (ms).

Cuadrada



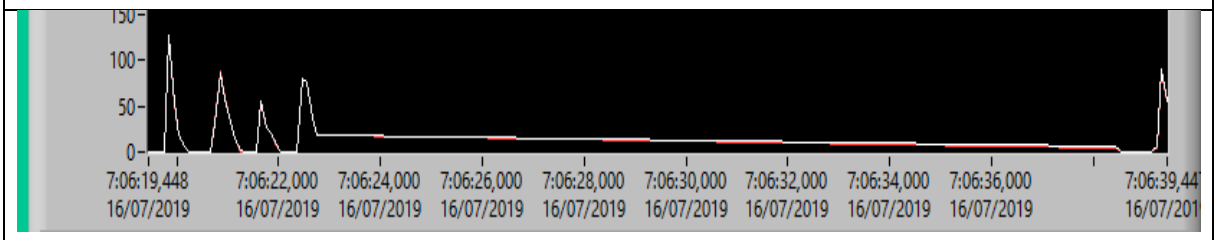
Rectangular



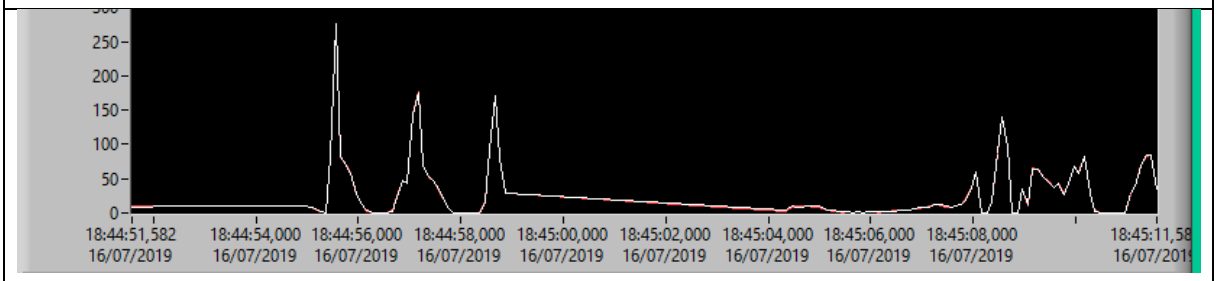
Elaborado por: El Autor.

Anexo 15. Diferencia de curva de respuesta de la baldosa piezoeléctrica cuadrada y rectangular, con conexión en paralelo *en función de su tiempo en (ms).*

Cuadrada



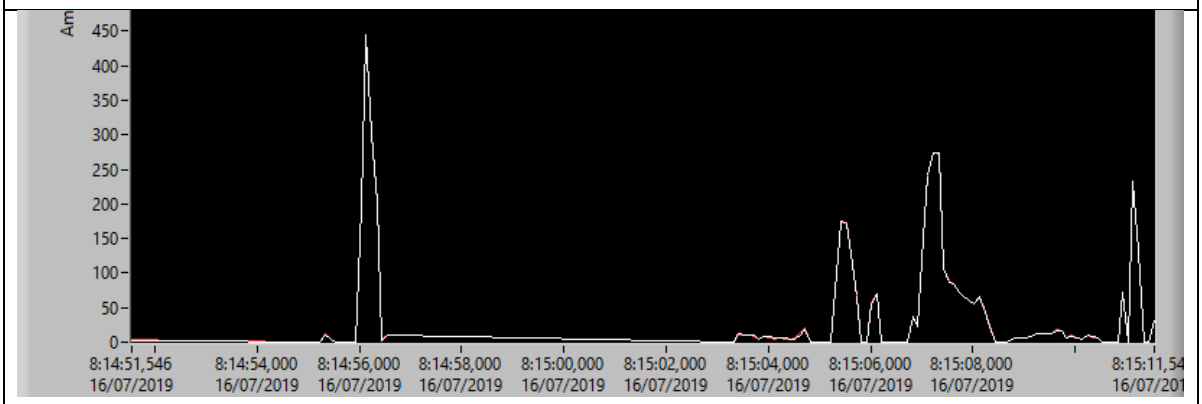
Rectangular



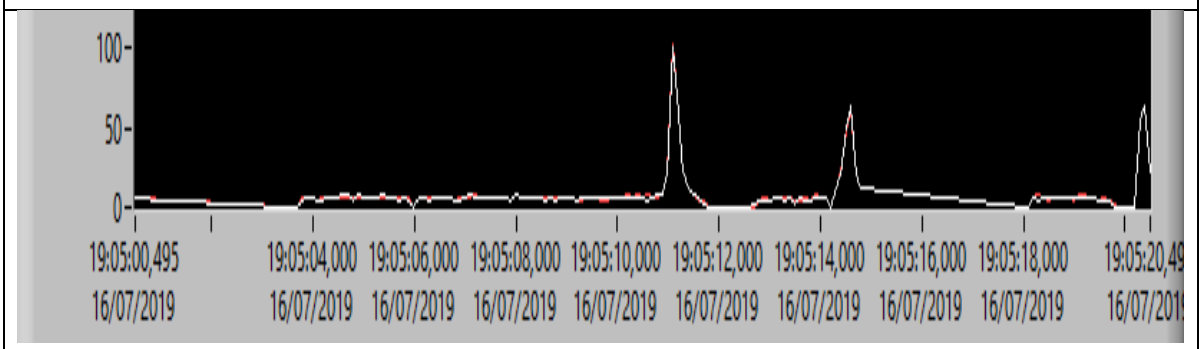
Elaborado por: El Autor.

Anexo 16. Diferencia de curva de respuesta de la baldosa piezoeléctrica cuadrada y rectangular, con conexión en mixta en función de su tiempo en (ms).

Cuadrada

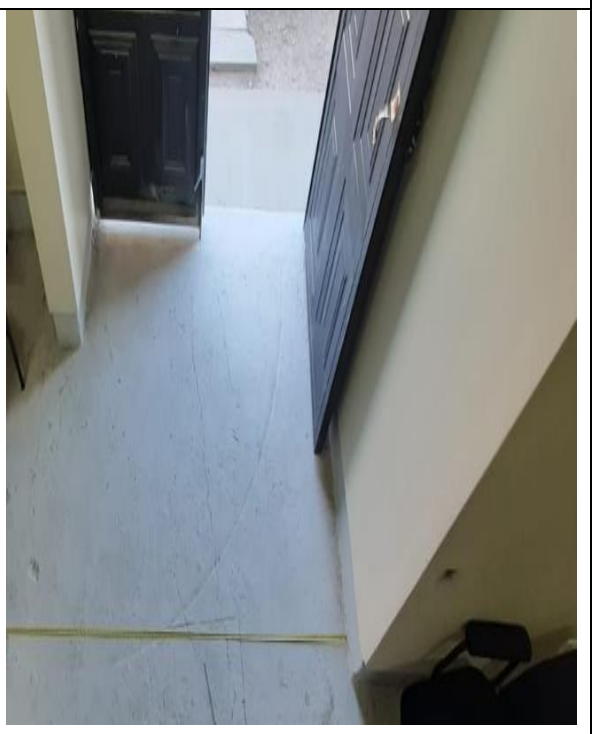


Rectangular



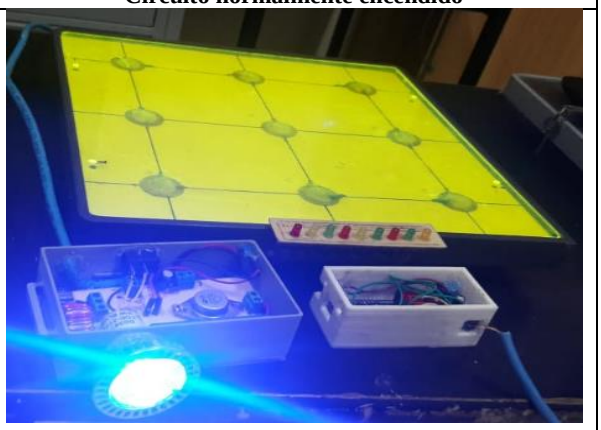
Elaborado por: El Autor.

Anexo 17.-Estudio de campo para la investigación de las baldosas piezoeléctricas.

Entrada principal de Club de Robótica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	
	

Elaborado por: El Autor.

Anexo 18.- Resultado del análisis de la energía proporcionada por la baldosa piezoeléctrica cuadrada, acumulada en el dispositivo acumulador con una lámpara led.

Baldosa piezoeléctrica	
Circuito normalmente apagado	**Circuito normalmente encendido**
	

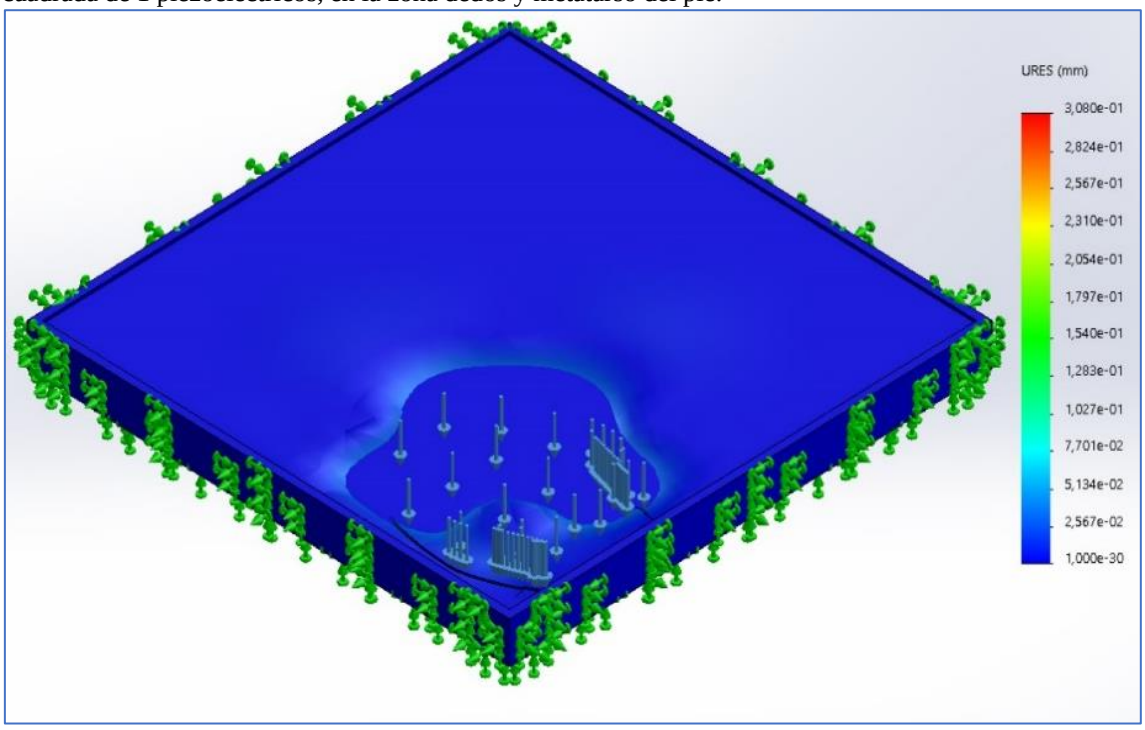
Elaborado por: El Autor.

Anexo 19. Programación del sistema para compilación del sistema Arduino 18.3.

```
pp §

// estas constantes no cambiarán:
const int ledPin = 13 ;      // LED conectado al pin digital 13
const int knockSensor = A0 ; // el piezo está conectado al pin analógico 0
const int threshold = 100 ;  // valor de umbral para decidir cuándo el sonido detectado es un golpe o no



// estas variables cambiarán:
int sensorReading = 0 ;      // variable para almacenar el valor leído desde el sensor pin
int ledState= LOW ;         // variable utilizada para almacenar el último estado del LED, para alternar
la configuración de

//vacío de luz ( ) {
  pinMode ( ledPin , OUTPUT ) ; // declara el ledPin como como SALIDA de serie . comenzar ( 9600 ) ;
  // utilizar el puerto serie } void loop ( ) { // leer el sensor y almacenarlo en la variable sensorReading:
  sensorReading = analogRead ( knockSensor ) ;




  // si la lectura del sensor es mayor que el umbral:
  if ( sensorReading > = threshold ) {
    // cambia el estado del ledPin:
    ledState = ! ledState ;
    // actualizar el pin LED en sí mismo:
    digitalWrite ( ledPin , ledState ) ;
    // envía la cadena "Knock!" De vuelta a la computadora, seguido de la nueva línea
    Serial.println ( "Knock!" ) ;
  }
```

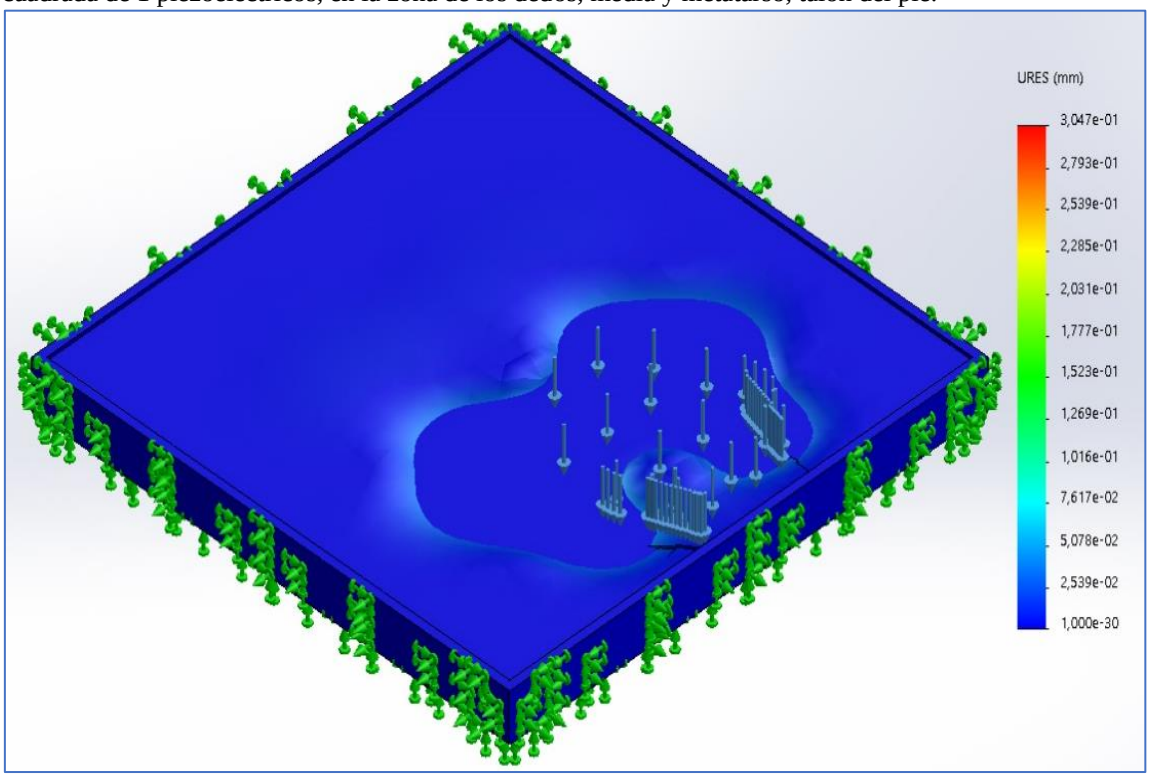
Elaborado por: El Autor.

Anexo 20. Simulación de datos obtenidos de la tabla 15 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 1 piezoeléctricos, en la zona dedos y metatarso del pie.



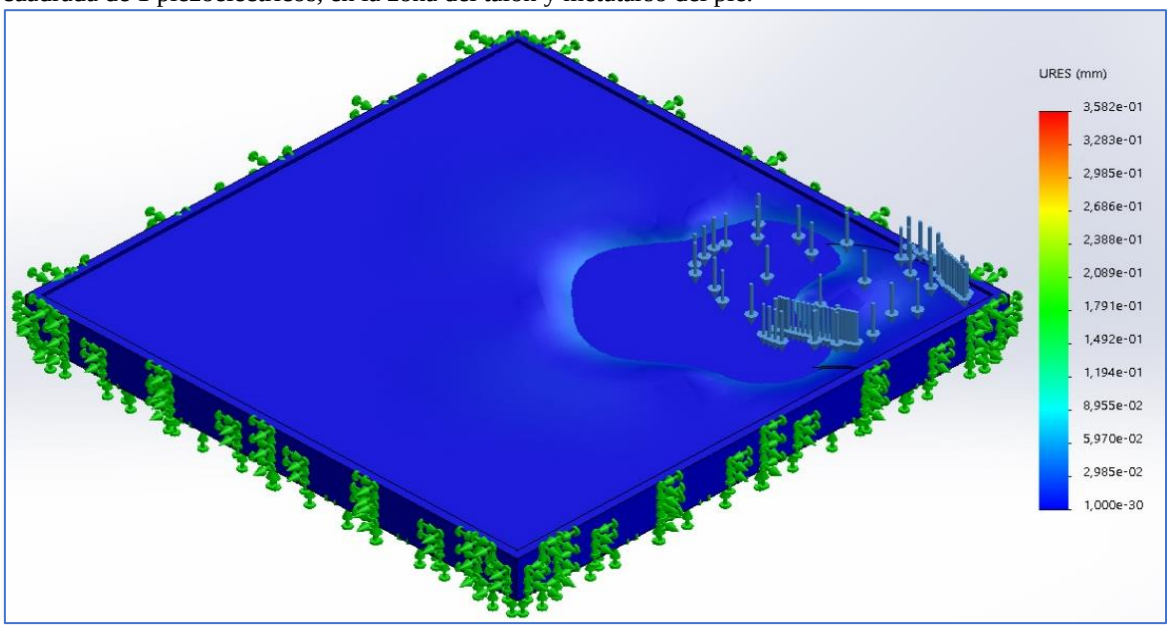
Elaborado por: El Autor.

Anexo 21. Simulación de datos obtenidos de la tabla 16 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 1 piezoeléctricos, en la zona de los dedos, media y metatarso, talón del pie.



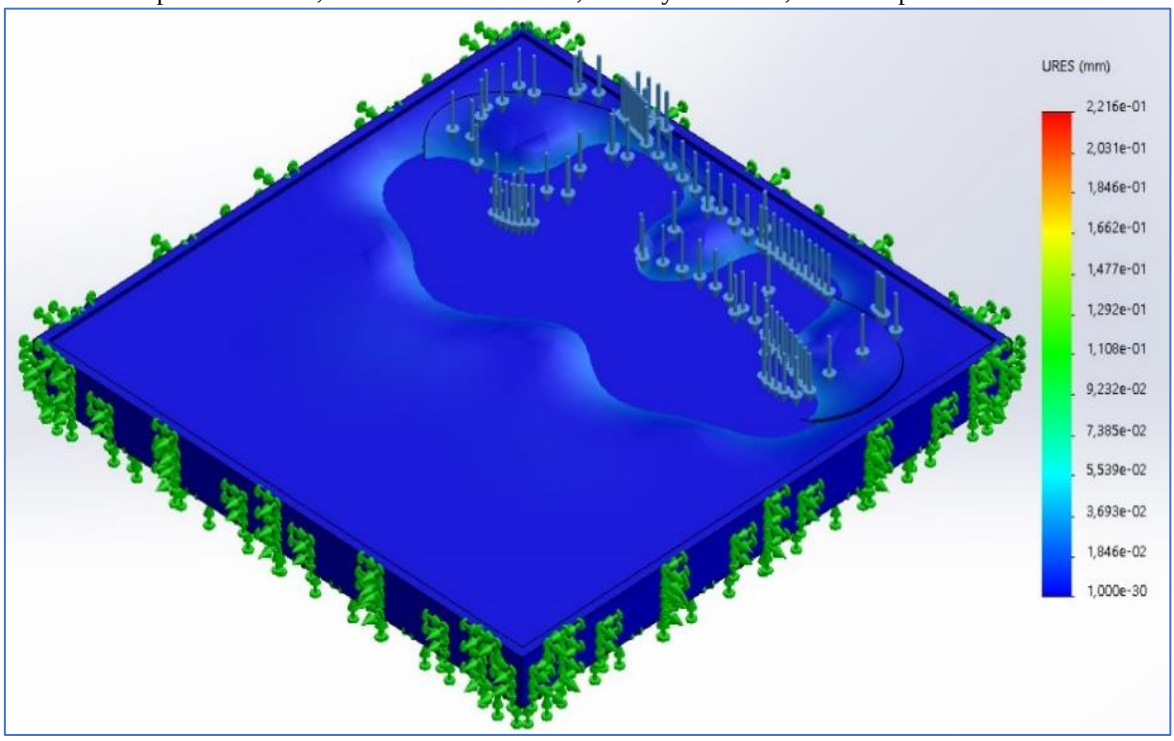
Elaborado por: El Autor.

Anexo 22. Simulación de datos obtenidos de la tabla 17 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 1 piezoeléctricos, en la zona del talón y metatarso del pie.



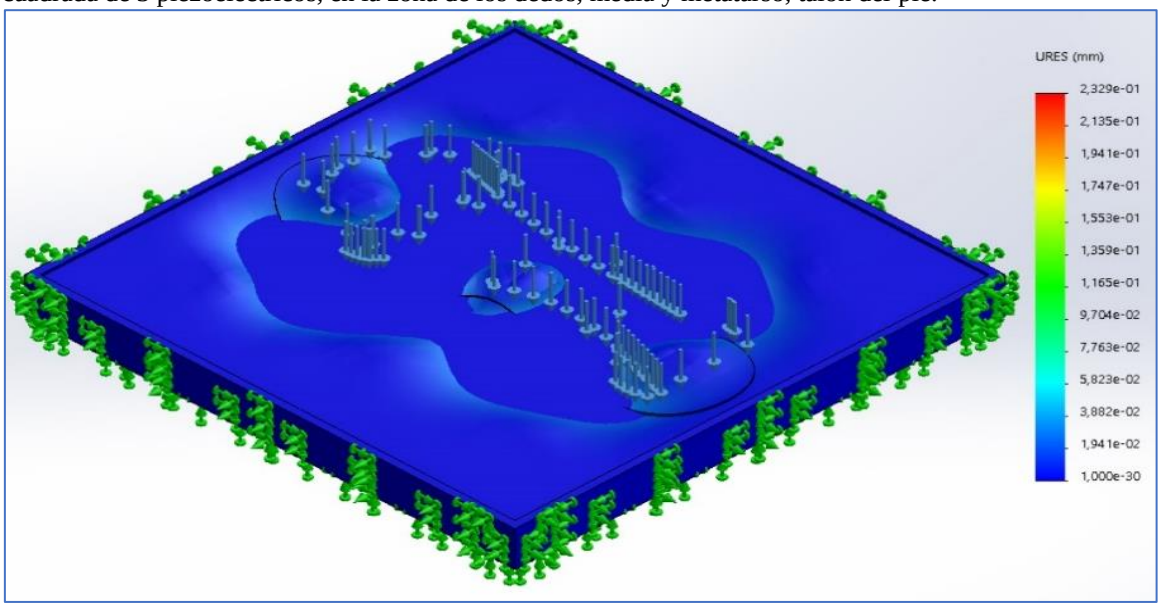
Elaborado por: El Autor.

Anexo 23. Simulación de datos obtenidos de la tabla 18 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 3 piezoeléctricos, en la zona de los dedos, media y metatarso, talón del pie.



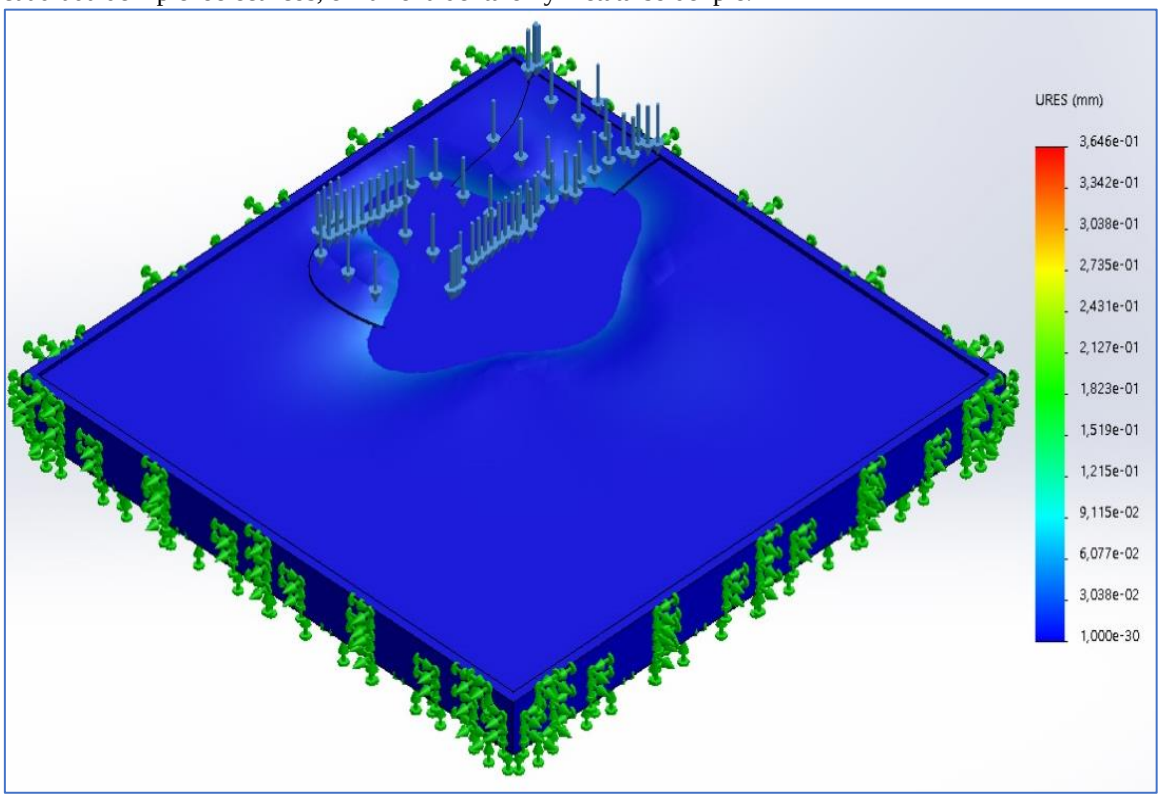
Elaborado por: El Autor.

Anexo 24. Simulación de datos obtenidos de la tabla 19 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 3 piezoeléctricos, en la zona de los dedos, media y metatarso, talón del pie.



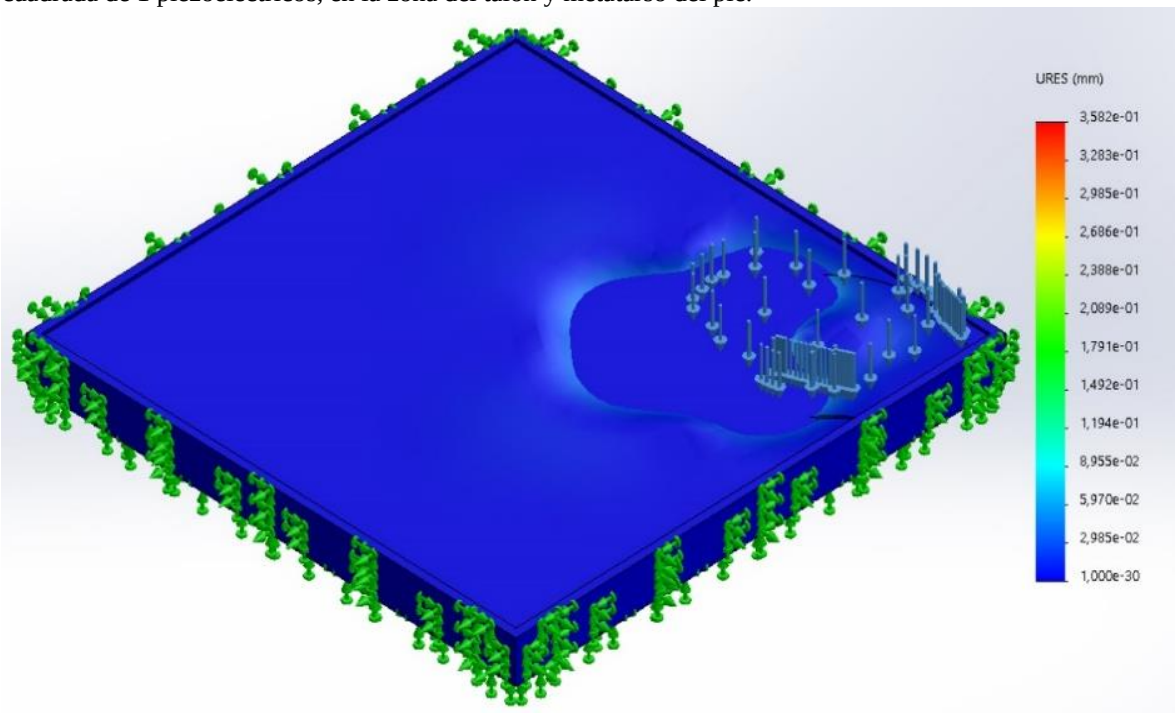
Elaborado por: El Autor.

Anexo 25. Simulación de datos obtenidos de la tabla 20 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 1 piezoeléctricos, en la zona del talón y metatarso del pie.



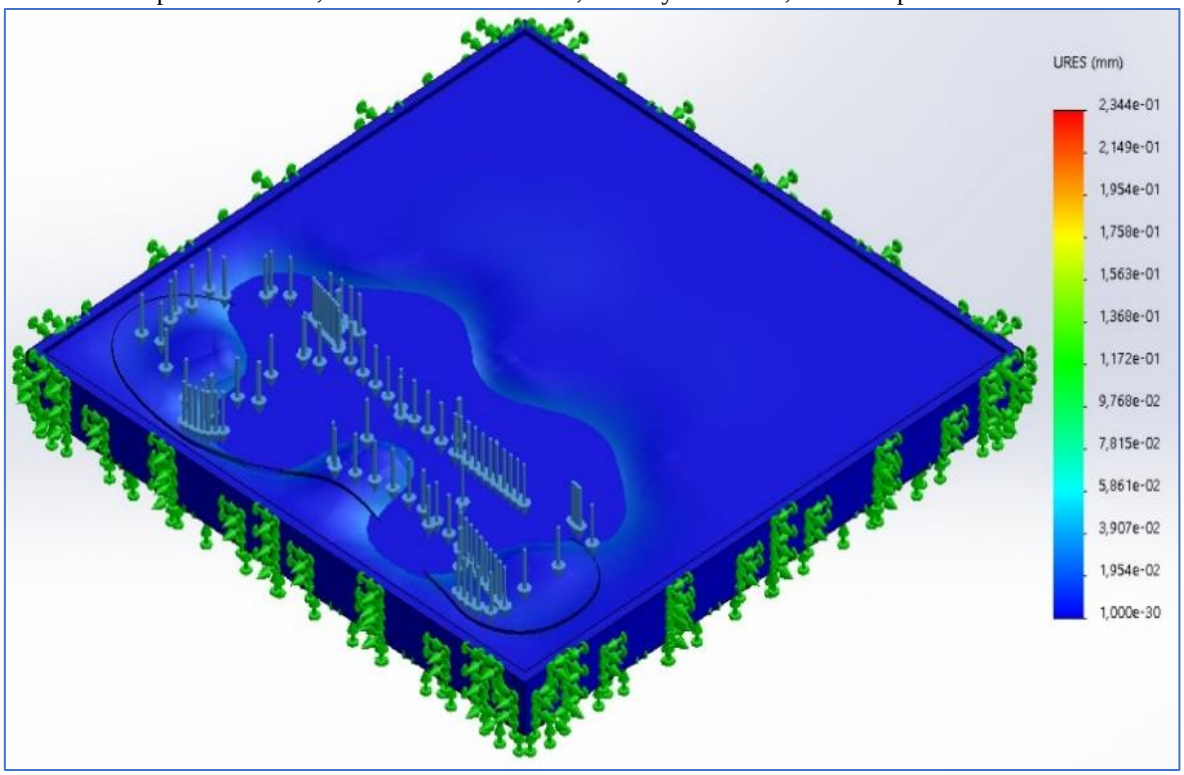
Elaborado por: El Autor.

Anexo 26. Simulación de datos obtenidos de la tabla 21 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 1 piezoeléctricos, en la zona del talón y metatarso del pie.



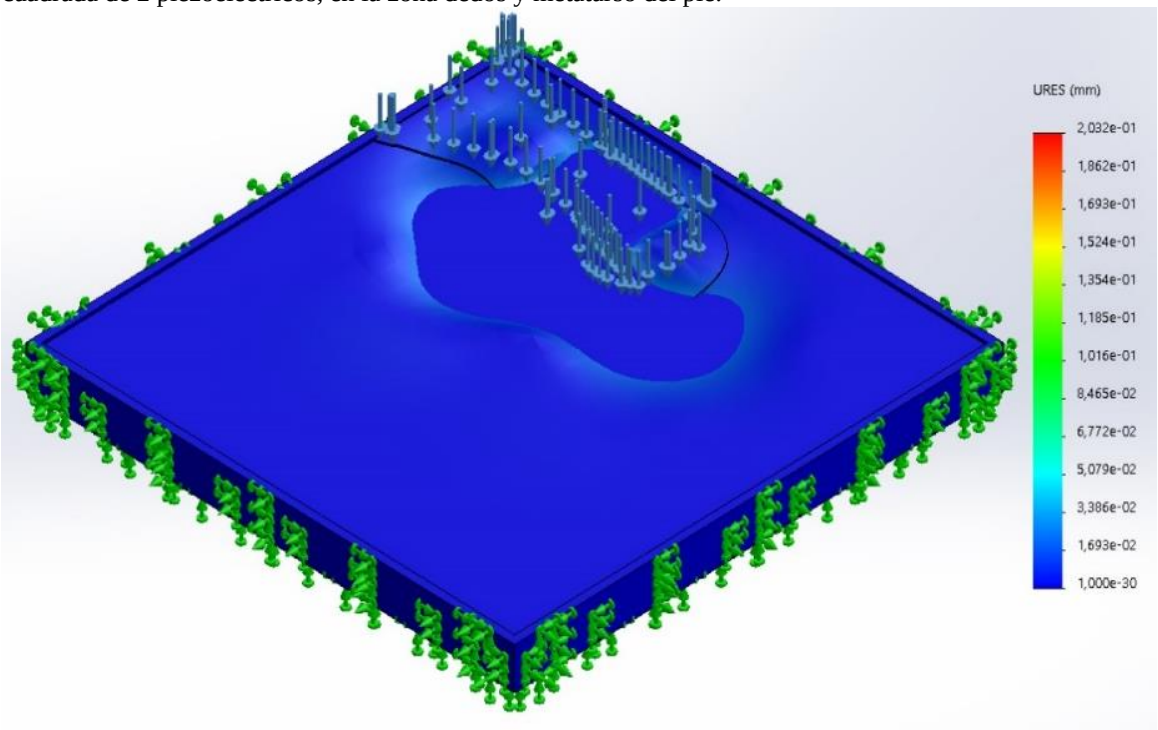
Elaborado por: El Autor.

Anexo 27. Simulación de datos obtenidos de la tabla 22 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 3 piezoeléctricos, en la zona de los dedos, media y metatarso, talón del pie.



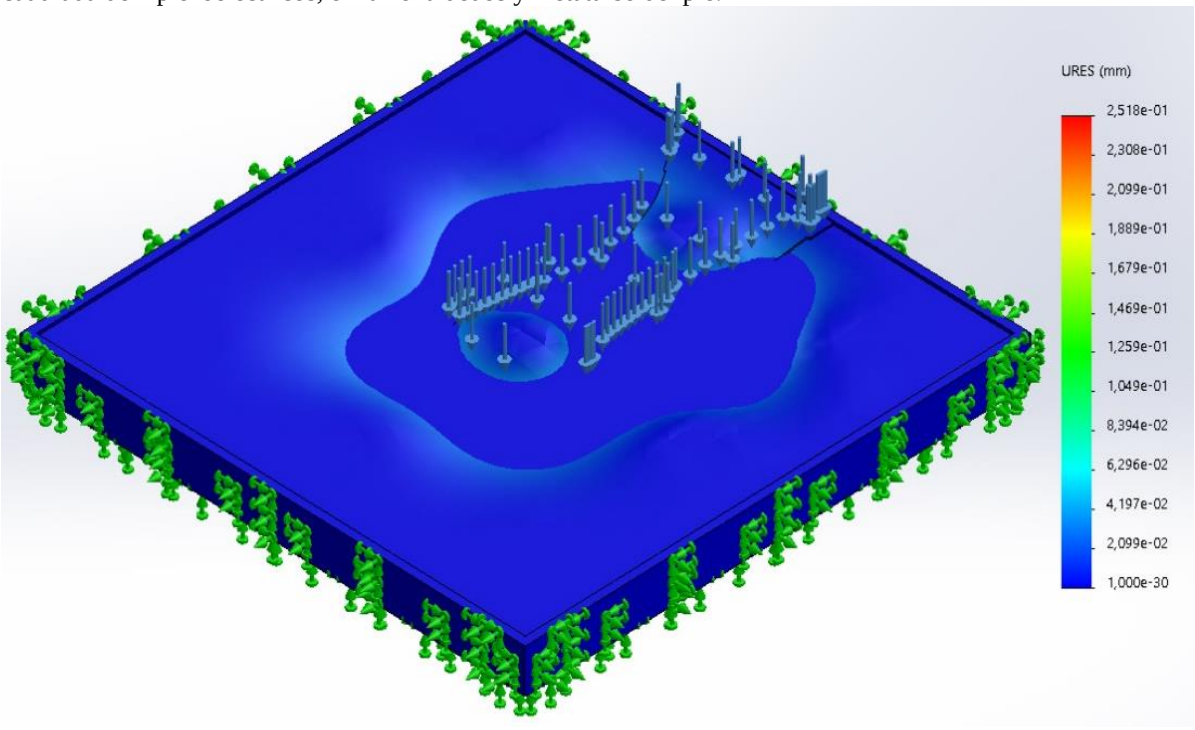
Elaborado por: El Autor.

Anexo 28. Simulación de datos obtenidos de la tabla 10.8 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 2 piezoeléctricos, en la zona dedos y metatarso del pie.



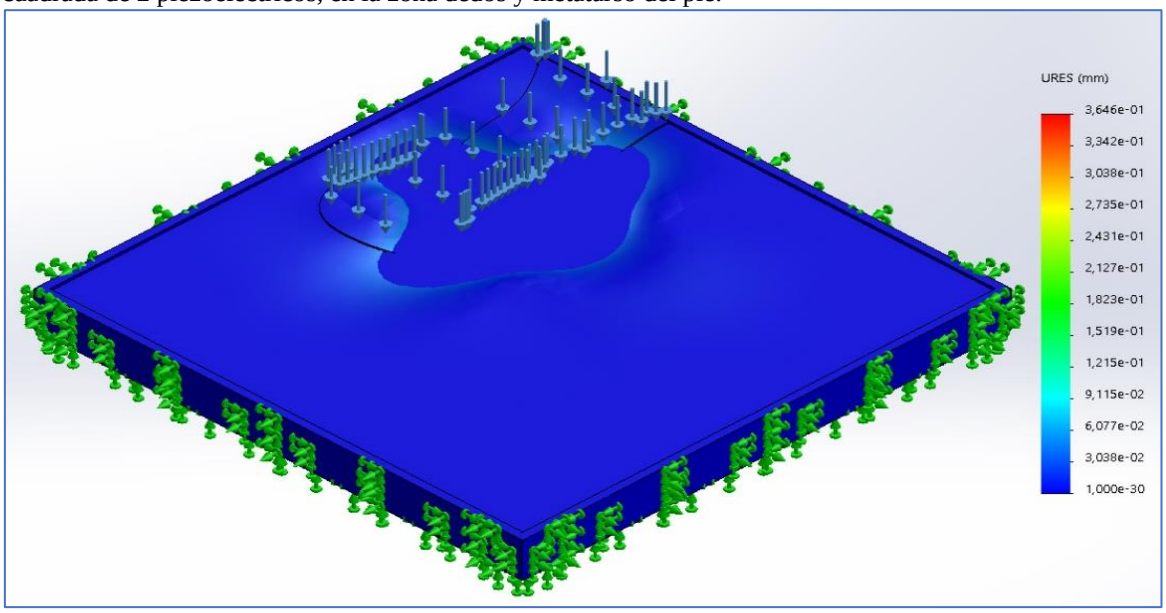
Elaborado por: El Autor.

Anexo 29. Simulación de datos obtenidos de la tabla 10.8 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 2 piezoeléctricos, en la zona dedos y metatarso del pie.



Elaborado por: El Autor.

Anexo 30.-Simulación de datos obtenidos de la tabla 10.8 con un peso constante de 402.07(N), para una baldosa cuadrada de 2 piezoeléctricos, en la zona dedos y metatarso del pie.



Elaborado por: El Autor.

ANEXO DE PLANOS

Anexo 31.- Planos

Plano N° 01.- Piezas, (Figura cuadrada).
Plano N° 02.- Ensamble de vistas, (Figura cuadrada).
Plano N° 03.- Ensamble de especificaciones, (Figura cuadrada).
Plano N° 01.- Piezas, (Figura rectangular).
Plano N° 02.- Ensamble de vistas, (Figura rectangular).
Plano N° 03.- Ensamble de especificaciones, (Figura rectangular).