

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad De Ingeniería En Ciencias Aplicadas

Carrera De Ingeniería En Mantenimiento Eléctrico

DESARROLLO DE CERÁMICA PIEZOELÉCTRICA PARA RECOLECCIÓN DE ENERGÍA DEL TRÁNSITO PEATONAL Y VEHICULAR EN CRUCE CEBRA

Trabajo de grado presentado ante la Ilustre Universidad Técnica del Norte previo a la obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

AUTOR:

Chandi Andrango Segundo Israel

DIRECTOR:

Ing. Julio Esteban Guerra Masson MSc.

Ibarra – Ecuador

2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100353946-5	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Chandi Andrango Segundo Israel	
DIRECCIÓN:	Ibarra	
EMAIL:	sichandi@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	062 664054	TELÉFONO MÓVIL: 0994293796

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DESARROLLO DE CERÁMICA PIEZOELÉCTRICA PARA RECOLECCIÓN DE ENERGÍA DEL TRÁNSITO PEATONAL Y VEHICULAR EN CRUCE CEBRA
AUTOR (ES):	Chandi Andrango Segundo Israel
FECHA: DD/MM/AAAA	26/06/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:'	Ing. Julio Esteban Guerra Masson MSc.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACION DE USO Y PUBLICACION
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 5 días del mes de enero de 2023

EL AUTOR:

Chandi Andrango Segundo Israel



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

Ing. Julio Esteban Guerra Masson MSc.

CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante: Chandi Andrango Segundo Israel, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **“DESARROLLO DE CERÁMICA PIEZOELÉCTRICA PARA RECOLECCIÓN DE ENERGÍA DEL TRÁNSITO PEATONAL Y VEHICULAR EN CRUCE CEBRA”** para la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico.

Ing. Julio Guerra MSc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Dedicatoria

Todo el tiempo y esfuerzo invertido para poder desarrollar el presente trabajo está dedicado especialmente a mis queridos padres, hermanos, hermanas y novia porque ellos fueron y son el motivo por el cual alcance mis metas, gracias por brindarme su apoyo incondicional cada día.

Agradecimiento

Deseo expresar mi más sincero sentimiento de gratitud y respeto a todos quienes han hecho posible alcanzar esta anhelada meta y por fin sea una realidad. Al MSc. Julio Guerra por su calidad humana, comprensión y por tomar la dirección de esta tesis e ir guiándome hacia la culminación de esta de una manera correcta.

A la Universidad Técnica del Norte por abrirme sus puertas y brindarme una educación de calidad y una formación académica derecha y muy reconocida. El esfuerzo de todos mis docentes por compartir e inculcar sus amplios conocimientos tanto dentro como fuera de la institución, por su amistad y entrega.

De una manera muy especial deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a todos mis compañeros y amigos por todos los momentos de alegrías y tristezas vividos en todo este tiempo.

Chandi Andrango Segundo Israel

Tabla de Contenido

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	II
CONSTANCIA.....	III
ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR.....	IV
Dedicatoria	V
Agradecimiento	VI
Tabla de Contenido.....	VII
Índice de Figuras.....	X
Índice de Tablas.....	XI
Resumen	XII
Abstract	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
A1. Contextualización	XIV
A2. Planteamiento del problema.....	XVI
A3. Justificación del trabajo	XVI
A4. Alcance del trabajo	XVII
A5. Viabilidad del trabajo	XVIII
A6. Objetivo general.....	XVIII
A7. Objetivos Específicos	XVIII
CAPÍTULO 1	19
Revisión bibliográfica	19
1.1 Consumo Energético	19
1.1.1 Escenario Energético Mundial.....	19
1.1.2 Escenario Energético Ecuatoriano	20
1.1.3 Generación de energía limpia	20
1.1.4 Energy Harvesting	20
1.2 Métodos de transducción de energía mecánica a energía eléctrica	21
1.2.1 Transducción electrostática.....	22
1.2.2 Transducción por generador de rotación electromagnética	22
1.2.3 Transducción piezoeléctrica	23
1.3 Efecto piezoeléctrico	23
1.3.1 Historia y definición de la piezoelectricidad	25
Definición de piezoelectricidad	26
1.3.2 Materiales Piezoeléctricos	26
1.3.3 Propiedades y características de los materiales Piezoeléctricos	28
1.4 Sistema Piezoeléctrico	30
1.4.1 Dispositivos piezoeléctricos.....	30

1.4.2	Regulador de tensión.....	32
1.4.3	Batería o acumulador de energía generada	32
1.5	Aplicaciones.....	33
1.5.1	Sensores	33
1.5.2	Actuadores	33
1.5.3	Transductores	34
1.5.4	Acelerómetros.....	34
1.5.5	Generadores	34
CAPÍTULO 2	34
	Diseño de una cerámica piezoeléctrica para generar energía eléctrica.....	36
2.1	Metodología del proyecto	36
2.2	Medición tránsito peatonal de la Carrera de Electricidad.....	37
2.2.1	Planeación de la medición.....	38
2.2.2	Conteo del tránsito peatonal.....	38
2.3	Impulso Mecánico.....	39
2.4	Método de generación de energía a través del tránsito peatonal	39
2.5	Método de generación de energía a través del tránsito de un vehículo ligero	39
2.6	Cálculos de los parámetros eléctricos y mecánicos aplicables al material piezoeléctrico PZT.	41
2.6.1	Modelo matemático para los parámetros eléctricos	41
2.6.2	Modelo matemático aplicado a los parámetros mecánicos.....	43
2.7	Cálculo y pruebas de los parámetros eléctricos y mecánicos.	45
2.7.1	Cálculo de la tensión por unidad de generación	45
2.7.2	Ensayos eléctricos en el elemento piezoeléctrico	46
2.8	Diseño de la cerámica Piezoeléctrica	48
2.8.1	Softwares utilizados	48
2.8.2	Diseño de la estructura de la cerámica piezoeléctrica.	49
2.9	Diseño en 3D de las partes que forman la baldosa.....	52
2.10	Diseño de los sistemas electrónicos para transmitir y almacenar la energía eléctrica generada por los piezoeléctricos.....	53
2.10.1	Dispositivos electrónicos utilizados	54
2.10.2	Conexión del circuito	56
CAPÍTULO 3	60
	Implementación y pruebas de funcionamiento	60
3.1	Conteo del tránsito peatonal	60
3.1.1	Análisis del tránsito peatonal	61
3.1.2	Modelo estadístico de flujo peatonal	2

3.2 Obtención de Datos.....	3
3.2.1 Parámetros físicos de la cerámica piezoeléctrica	6
3.2.2 Identificación de la potencia mecánica y la energía eléctrica generada	7
3.3 Métodos de Análisis de Datos.....	11
3.3.1 RESULTADOS.....	12
3.4 Caso de estudio en vehículos	14
3.5 Pruebas y adquisición de datos a vehículos ligeros físicamente.	17
3.6 DISCUSION DE RESULTADOS.....	20
CONCLUSIONES.....	22
RECOMENDACIONES	23
REFERENCIAS.....	24
Anexo A. Material para la construcción de la base.	29
Anexo B. Material de base y recubrimiento.....	31
Anexo C. Modulo Micro SD para Arduino.....	32
Anexo D. Parámetros del módulo Micro SD para Arduino.....	32
Anexo E. Modulo RTC DS 3231	33
Anexo F. Arduino Mega 2560 Datasheet.	34
Anexo G. Código en la IDE Arduino para la adquisición de datos.	35
Anexo H. Adquisición de datos almacenados en la microSD en un archivo .txt.	38
Anexo I. Monitor serial de la IDE de Arduino.....	39
Anexo J. Vehículos livianos utilizados para las pruebas experimentales.....	40
Anexo K. Proceso de armado de la capa inferior, superior y la cerámica Piezoeléctrica en funcionamiento.....	41

Índice de Figuras

Figura 1. Matriz eléctrica mundial, por año según la fuente de energía.....	1
Figura 2. Potencia nominal, por mes según la fuente de energía.	2
Figura 3. Principio de Funcionamiento del Transductor Electrostático.....	4
Figura 4. Efecto piezoeléctrico directo.....	6
Figura 5. Efecto piezoeléctrico inverso.....	6
Figura 6. Celda piezoeléctrica (a) antes de polarizarse (b) Después de polarizarse.....	12
Figura 7. Esquema estructural del Sistema de Generación Piezoeléctrica.....	12
Figura 8. Proceso de transformación de energía, efecto piezoeléctrico.....	13
Figura 9. Procedimiento para el diseño de cerámica Piezoeléctrica	18
Figura 10. Superficie de contacto entre el neumático y la carretera.	22
Figura 11. Medición de tensión en un disco piezoeléctrico.....	29
Figura 12. Medición de corriente en un disco piezoeléctrico.	29
Figura 13. Placa fibra con el trazado de las guías para asentamiento.....	32
Figura 14. Baldosas de Ecoliso	33
Figura 15. Interconexión de los elementos se realiza en paralelo.....	34
Figura 16. Modelado 3D del prototipo de la baldosa Piezoeléctrica.....	35
Figura 17. Circuito electrónico completo para transmitir y almacenar y la conexión en paralelo de los discos PZT.....	39
Figura 18. Circuito electrónico para transmitir y almacenar el voltaje.	39
Figura 19. PCB del Sistema de rectificación, filtrado y almacenamiento de energía.....	40
Figura 20. Montaje PCB del Sistema de rectificación, filtrado y almacenamiento de energía.....	41
Figura 21. Portería entrada y salida peatonal de la Carrera de Electricidad.....	42
Figura 22. Tránsito peatonal en portería de la Carrera de Electricidad.....	44
Figura 23. Totales Tránsito peatonal día, respecto Media Flujo Peatonal día.	45
Figura 24. Datos del voltaje contra el tiempo de medición martes.....	47
Figura 25. Datos del voltaje contra el tiempo de medición miercoles.....	47
Figura 26. Datos del voltaje contra el tiempo de medición jueves.....	48
Figura 27. Datos del voltaje contra el tiempo de medición viernes.	48
Figura 28. Totales de resultados de energía mecánica.	55
Figura 29. Energía eléctrica generada (Wh).	56
Figura 30. Resultados de tiempo de almacenamiento.....	57
Figura 31. Voltaje pico frente a la fuerza aplicada para un PZT.....	59
Figura 32. Voltaje pico frente a la velocidad.....	60
Figura 33. Voltaje pico frente a la fuerza y velocidad aplicada vehículo uno.....	61
Figura 34. Voltaje pico frente a la fuerza y velocidad aplicada vehículo dos.....	62
Figura 35. Voltaje pico frente a la fuerza y velocidad aplicada vehículo tres.....	63

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos del material piezoeléctrico	29
Tabla 2. Lista de materiales electronicos empleados en el circuito electronico para la transmisión y almacenamiento.....	39
Tabla 3. Tránsito de estudiante, docentes y visitantes en portería de entrada y salida peatonal.....	44
Tabla 4. Estadístico de flujo peatonal.....	47
Tabla 5. Datos específicos de los individuos	50
Tabla 6. Datos específicos de los individuos para el cálculo del trabajo mecánico.....	50
Tabla 7. Datos específicos de los individuos para el cálculo de la energía mecánica.....	52
Tabla 8. Datos primer individuo (20.56 J) para el cálculo de la energía generada.....	53
Tabla 9. Datos segundo individuo (20.43 J) para el cálculo de la energía generada.....	53
Tabla 10. Datos tercer individuo (18.41 J) para el cálculo de la energía generada.....	54
Tabla 11. Datos para evaluar el tiempo de carga de la batería.....	54
Tabla 12. Datos primer individuo para evaluar el tiempo de carga de la batería	55
Tabla 13. Datos segundo individuo para evaluar el tiempo de carga de la batería	55
Tabla 14. Datos tercer individuo para evaluar el tiempo de carga de la batería	55
Tabla 15. Resultados de energía mecánica.....	56
Tabla 16. Resultados de energía eléctrica generada.....	57
Tabla 17. Resultados del tiempo de carga.....	58
Tabla 18. Datos específicos de los vehículos.....	59
Tabla 19. Cálculo de voltaje de cada piezoeléctrico de los diferentes vehículos.....	60
Tabla 20. Prueba de voltaje de cada piezoeléctrico de los diferentes vehículos.....	61
Tabla 21. Datos específicos del vehículo 1.....	62
Tabla 22. Datos específicos del vehículo 2.....	63
Tabla 23. Datos específicos del vehículo 3.....	64

Resumen

La constante búsqueda por suplir los métodos de generación eléctrica convencional por fuentes de energía renovables es cada vez mayor. La energía térmica, química, biológica y mecánica es una opción viable de desarrollo que pueden ser aprovechadas por generadores eléctricos. La alta demanda energética por el crecimiento exponencial de la población trae consigo el desequilibrio ambiental y las actuales formas de generación son invasivas con el medio ambiente causando contaminación. Por lo que el presente trabajo se centra en la construcción de un prototipo de generador eléctrico basado en cerámicas piezoeléctricas que transforme la fuerza mecánica de compresión del tránsito peatonal y vehicular en energía eléctrica. El proceso de diseño consta de múltiples etapas, donde lo primero es calcular los parámetros eléctricos y mecánicos para el diseño de la cerámica para posteriormente elegir el material para la fabricación de la baldosa y el componente piezoeléctrico. Se procede a ensamblar la baldosa con los discos piezoeléctricos. Se diseñan los sistemas electrónicos para la transmisión, rectificación y almacenamiento de la energía generada. Luego se pasa a la etapa de pruebas en donde se observa el comportamiento del sistema sometido a cargas compresivas y por último se hace la validación y recolección de datos del voltaje generado. En los resultados podemos observar que se logró diseñar una cerámica piezoeléctrica que al aplicar una fuerza mecánica se genera energía eléctrica limpia.

Palabras Claves: Energía renovable, Piezoelectricidad, Energía mecánica, Generador piezoeléctrico.

Abstract

The continuous search to replace conventional electricity generation methods with renewable energy sources is growing. Thermal, chemical, biological and mechanical energy are a feasible development option that can be used by electric generators. The high energy demand due to the exponential population increase brings with it environmental imbalance and the current forms of generation are invasive with the environment having pollution as a consequence. Therefore, the present project focuses on the creation of an electric generator prototype based on piezoelectric tiles that can transform the mechanical force of pedestrian and vehicular transit compression into electrical energy. The design process includes several stages, the first one consists to calculate the electrical and mechanical parameters for the design of the tile, to subsequently choose the material for the manufacture of the tile and the piezoelectric component. To proceed to assemble the tile with the piezoelectric discs. Electronic systems are designed for the storage, rectification and transmission of the generated energy. Afterwards, comes the testing stage where the performance of the system subjected to compressive charges is observed and finally the validation is realized and the data of the voltage generated is collected. In the results we can see that it was possible to design a piezoelectric tile that when applying a mechanical force, clean electrical energy is generated.

Keywords: Renewable energy, Piezoelectricity, Mechanical energy, Piezoelectric generator.

INTRODUCCIÓN

A1. Contextualización

En los últimos años, se han realizado muchas investigaciones en todo el mundo sobre la piezoelectricidad y su uso en diversas aplicaciones, como procesos industriales como la fabricación de automóviles y el moldeo por inyección, así como tecnología médica, aeronáutica y astronáutica, tecnología ferroviaria, biomecánica, termoacústica, etc. Los dispositivos con propiedades piezoeléctricas para la generación de energía no han sido ampliamente adoptados, lo que los convierte en una de las fuentes de energía alternativas limpias menos desarrolladas. Ecuador cuenta actualmente con una gran cantidad de recursos y alternativas para la generación de electricidad. La fuente de energía puede ser agua, viento, sol o cualquier otro combustible fósil.

En la clasificación de fuentes alternativas de energía se pueden encontrar varios tipos de sistemas de generación de energía, unos dependientes del sol y otros dependientes del viento, que no son sistemas continuos. Asimismo, existen sistemas funcionales, pero menos robustos, como los elementos piezoeléctricos que son capaces de generar energía bajo esfuerzos mecánicos y son sistemas continuos. El uso de elementos piezoeléctricos está presente en el desarrollo de nuevas fuentes de generación de energía. Reconociendo la piezoelectricidad como un elemento importante en los sistemas alternativos de generación de energía que operan por la presión que se ejerce al caminar sobre superficies de estos materiales, la electricidad generada en este proceso se almacena y luego se utiliza para alimentar las cargas que la necesitan. (Angulo, 2017).

Actualmente a nivel mundial existen varios países que investigan y desarrollan diferentes proyectos sobre energías limpias. 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) (Vargas Pillicita, 2020).

En el año 2008 la compañía de metro japonesa East Japan Railway Company (JR East) ha instalado en los torniquetes de entrada en una estación de metro en Tokio unas zonas de paso construidas con materiales piezoeléctricos las cuales son capaces de recoger la energía generada al caminar sobre ellas. Según estudios realizados por la empresa, el sistema piezoeléctrico será capaz de suministrar 1.400kWs en condiciones normales de tráfico, lo que significa que podría encender todas las pantallas de la estación por sí mismo (Jaramillo Romero, López Gelvez, & Muñoz Fuentes, 2018)..

Los estudios de mayor relevancia en cuanto al desarrollo de nuevos sistemas de generación piezoeléctrica son los siguientes:

A nivel de Latinoamericano en Colombia se realizó la implementación de sistemas

piezoeléctricos en las vías, para la iluminación de las mismas, 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 (Tamayo-Zapata & Cardozo-Gutiérrez, 2017).

En la estación de Transmilenio de San Mateo, se propuso el diseño de un prototipo de baldosa que sería probada con la finalidad de analizar la potencia que se puede generar por un minuto en una estación de gran concurrencia (Jaramillo Romero et al., 2018).

En Ecuador se han realizado diferentes estudios en las siguientes universidades: 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 (Nuñez Culqui, 2018)..

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, 2012).

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 (Chong Proaño & Chila Pacheco, 2019)..

Debido al creciente uso de dispositivos inalámbricos, el cosechamiento de energía ha destacado como una alternativa al uso de baterías convencionales, al ser una fuente de energía limpia y renovable. Estos dispositivos inalámbricos, las tecnologías MEMS, sensores para la monitorización de la salud, sensores para aplicaciones médicas, monitorización de presión de las ruedas en automóviles, son sensibles de aprovechar las diferentes tecnologías de cosechamiento de energía(Gómez Molina, 2018)..

Los inyectores de combustible piezoeléctricos también han aparecido en la industria automotriz, reemplazando a los inyectores de bobina, logrando una mayor precisión y velocidad de operación. La piezoelectricidad está logrando grandes avances en la generación de electricidad limpia, pero tiene problemas con su capacidad para generar baja potencia y solo puede usarse para alimentar sistemas de baja potencia. Todos estos proyectos y aplicaciones están orientados

al análisis y estudio de sistemas piezoeléctricos de generación de energía, diferentes diseños y aplicaciones basados en el aprovechamiento de energía.

A2. Planteamiento del problema

En la actualidad la generación de energía eléctrica depende en su mayor parte de energías no renovables como la carbonífera o de cualquier otro precursor fósil. Existe la necesidad de buscar nuevos sistemas de generación para suplir la creciente demanda energética que aumenta proporcionalmente al incremento de la población mundial. Con el aumento de población, su circulación y el uso de vehículos motorizados y no motorizados, no se está aprovechando el esfuerzo mecánico que se produce al caminar o circular los vehículos y la posible conversión de este esfuerzo mecánico en energía eléctrica limpia. Debido a que la cantidad de energía generada es directamente proporcional a la cantidad de personas o vehículos que circulan sobre la vía.

¿Cómo aprovechar la energía mecánica producida sobre un material piezoeléctrico por el paso de transeúntes y vehículos para generar energía eléctrica sustentable?

A3. Justificación del trabajo

Actualmente, la mayor parte de la producción de energía a escala mundial y nacional depende de fuentes de energía no renovables y su producción genera residuos con altos niveles de contaminación, y sobre todo, causa degradación ambiental para las generaciones futuras, lo que estará relacionado con las necesidades humanas. una población creciente y los altos costos de energía necesarios para satisfacer sus necesidades básicas.

Por lo tanto, es necesario pensar en ideas que contribuyan a la producción de energía limpia y sostenible, cubriendo parcialmente esta demanda, protegiendo así el medio ambiente para las generaciones futuras. Entonces, mediante el uso de sistemas capaces de producir y almacenar energía de manera sostenible mientras se reduce el impacto ambiental de la generación de energía, existe la oportunidad de aprovechar el alto tráfico de peatones y automóviles, ya que generan una gran cantidad de energía mecánica desperdiciada que podría ser una solución para estos problemas. necesidades latentes. Este tipo de energía estará disponible durante todo el día gracias al flujo de vehículos en las carreteras donde se utiliza la tecnología, a diferencia de otras fuentes de energía renovable que siguen un ciclo de producción.

En este trabajo de grado se plantea una alternativa viable de generación utilizando dispositivos piezoeléctricos para la recolección de energía eléctrica, en un lugar de alta circulación vehicular y peatonal que transitan diariamente por este paso cebra de la ciudad de Ibarra, planteando un prototipo que sea aplicable en diferentes empresas, fábricas e instituciones, que disponga de un tránsito vehicular y de peatones constante para la transformación de energía aplicando el concepto de piezoelectricidad, como una opción real en la generación de energía eléctrica limpia, aplicables en sistemas eléctricos que requieran alimentación de baja potencia.

A4. Alcance del trabajo

Es indispensable encontrar un escenario adecuado para la implementación de esta tecnología, es aquí en donde el sector transporte pasa a ser una parte importante del presente proyecto, siendo este un sector donde el flujo de personas y vehículos va en aumento a ciertas horas, y permite tener un mayor provecho de esta tecnología, para esto se va a realizar la prueba de esta alfombra piezoeléctrica en el paso cebra de un lugar de alto tránsito peatonal y vehicular de la ciudad de Ibarra, porque se necesita una circulación constante de peatones y vehículos para validar los datos obtenidos de la potencia generada, posteriormente se implementara en el edificio de la carrera de ingeniería en mantenimiento eléctrico de la Universidad Técnica del Norte.

Para la construcción del prototipo de baldosa se va a utilizar discos piezoeléctricos cerámicos 35mm de diámetro con propiedades piezoeléctricas, se decide utilizar la conexión en paralelo ya que se evidencia un mayor voltaje en su conexión, posteriormente y tras varias consultas bibliográficas se decide hacer la conexión en paralelo de 5 sensores juntos con un puente de diodos y con condensadores tipo electrolítico. Se realiza una conexión de cinco sensores para una mayor capacidad de generación de potencia que es alrededor de 0,015W por conexión de sensores cerámicos piezoeléctricos. Se utilizará alrededor de diez grupos de que darían 50 discos piezoeléctricos con una potencia total 0.15W por toda la alfombra piezoeléctrica. Su instalación será sobre puesta en la vía o paso cebra. El diseño del circuito se lo realizara en el software Proteus Design Suite. En el caso del paso vehicular se instalará más grupos de sensores ala distancia de separación promedio de las llantas de un automóvil. La dimensión de la baldosa seria de 0.4 m por 0.73 m. Se utilizará una batería recargable de 12V, ácido-plomo, 1.2Ah (Batería de moto).

Se tomará datos en un periodo de tiempo que el tránsito peatonal y vehicular este en la hora pico del día. Estos datos serán tomados del tipo de vehículo, persona que atraviese la alfombra piezoeléctrica. Las características que se observará será la contextura de la persona para aproximar su peso y relacionarlo con el voltaje resultante. Se tabulará los datos en una hoja de cálculo de Microsoft Excel y se conocerá el tiempo en que se va a llegar al cien por ciento de carga completa de la batería. Con esto se va a dar un promedio estimado de la energía generada en relación con la cantidad de vehículos y peatones que transitaron por esta alfombra piezoeléctrica.

El presente trabajo radica en lograr almacenar energía eléctrica en una batería (cruce de peatones por medio de una alfombra piezoeléctrica) a partir de la deformación mecánica de los discos cerámicos piezoeléctricos por parte del tránsito peatonal y vehicular y se realizara pruebas de generación en el transcurso de la implementación para comprobar el correcto funcionamiento de estas baldosas (alfombra piezoeléctrica).

A5. Viabilidad del trabajo

En este trabajo de grado se plantea una alternativa viable de generación utilizando dispositivos piezoeléctricos para la recolección de energía eléctrica, en un lugar de alta circulación vehicular y peatonal que transitan diariamente por este paso cebra de la ciudad de Ibarra, planteando un prototipo que sea aplicable en diferentes empresas, fábricas e instituciones, que disponga de un tránsito vehicular y de peatones constante para la transformación de energía aplicando el concepto de piezoelectricidad, como una opción real en la generación de energía eléctrica limpia, aplicables en sistemas eléctricos que requieran alimentación de baja potencia.

A6. Objetivo general

Construir un prototipo de generador eléctrico basado en cerámicas piezoeléctricas que transforme la fuerza mecánica de compresión del tránsito peatonal y vehicular en energía eléctrica.

A7. Objetivos Específicos

- Describir los procesos de generación y recolección de energía eléctrica producida por la deformación de materiales piezoeléctricos.
- Diseñar una cerámica piezoeléctrica para generar y almacenar energía eléctrica por deformación de un material piezoeléctrico.
- Implementar un sistema de generación de energía eléctrica, a partir de la deformación de una cerámica piezoeléctrica donde se evaluará el desempeño bajo carga compresiva a los circuitos electrónicos y se validará los datos obtenidos.

CAPÍTULO 1

Revisión bibliográfica

1.1 Consumo Energético

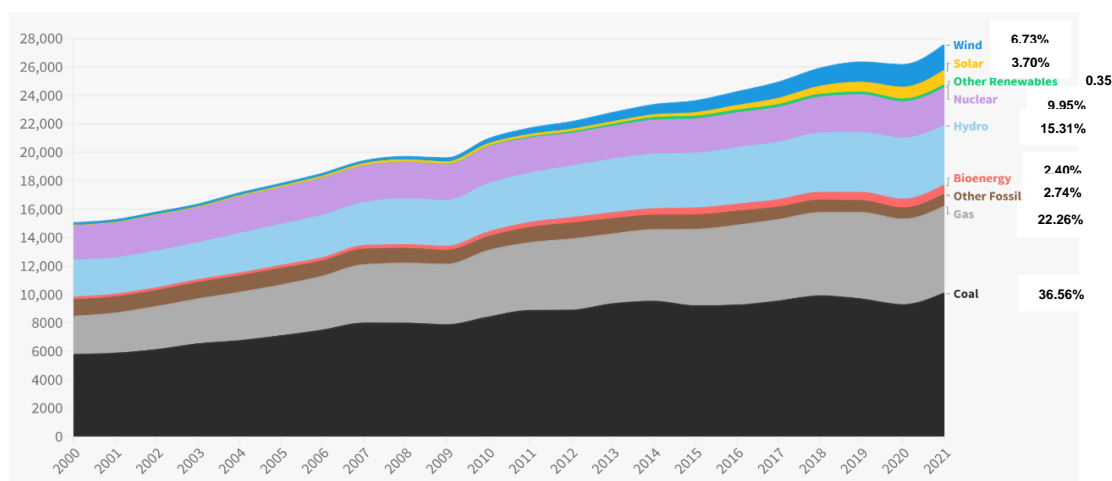
Analizar los resultados de casi tres décadas de esfuerzos para la transición al suministro de energía basado en fuentes de energía renovables (ERs), en particular las renovables no convencionales (ERNCs), la producción y el consumo de energía en las regiones indicadas por la Agencia Internacional de Energía (IEA) entre 1990 y 2018. Descubrió que, si bien la producción mundial de energía renovable casi se duplicó en las tres últimas décadas, las fuentes de energía producidas no han cambiado significativamente ya que la proporción de energía generada por combustibles fósiles (CFs) se ha mantenido en 81%. (M. Pereira & Pulido, 2021)

1.1.1 Escenario Energético Mundial

Cerca del 72% de la energía utilizada en el mundo proviene de fuentes no renovables y el 28% restante proviene de fuentes renovables, ver Figura 1, donde la dependencia del petróleo, carbón y gas natural como recursos fósiles están disponibles en cantidades que pueden considerarse relativamente abundante pero agotables, muchos países deben comenzar la transición hacia un mayor uso de fuentes de energía renovables, contribuyendo así a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que el mundo debe enfrentar. (Ember, 2022).

Figura 1

Matriz eléctrica mundial, por año según la fuente de energía



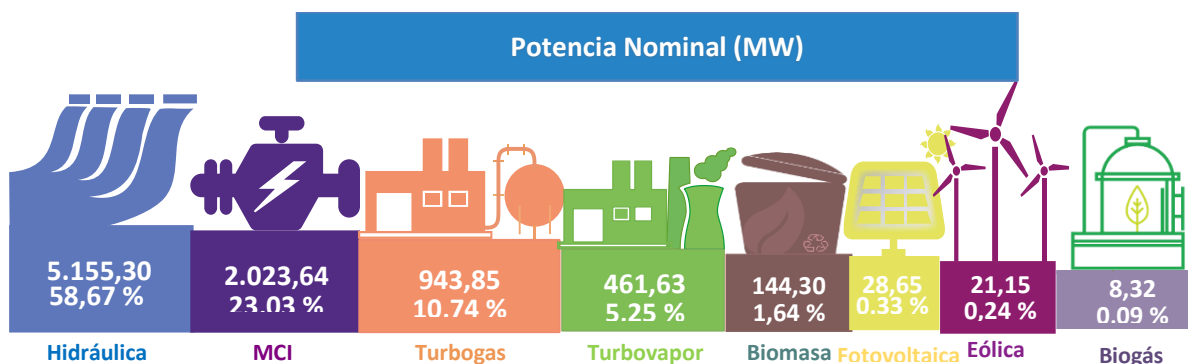
Nota. Adaptado de *Global Electricity Review* (p. 23), por Maciej Zieliński, 2022, EMBER.

1.1.2 Escenario Energético Ecuatoriano

El Sector Eléctrico Ecuatoriano en general goza de una matriz energética relativamente rica, tanto en combustibles fósiles como en recursos renovables, actualmente; la potencia instalada en generación del país proviene en un 39,02% de recursos primarios de origen fósil, un 58,67% de hidroeléctricas y un 2,3% en las demás energías, tal como se muestra Figura 2(ARCERNNR, 2022).

Figura 2

Potencia nominal, mes de junio según la fuente de energía



Nota. Adaptado de Balance Nacional de Energía Eléctrica [Fotografía], por ARCERNNR, 2022, (<https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec>), WCAG 2.0

1.1.3 Generación de energía limpia

En los últimos años han surgido nuevas ideas para promover el ahorro de energía y su implementación práctica desde un punto de vista técnico, ambiental, social y económico, lo que lleva a la búsqueda de soluciones en el campo de la generación de energía eléctrica, especialmente la energía verde, reducirá emisiones de dióxido de carbono y un aumento en la temperatura global promedio, por ejemplo, la energía solar, eólica, de biomasa, geotérmica, mareomotriz y muchas otras alternativas energéticas sostenibles y sustentables no representan una amenaza para nuestra salud y el planeta.(Colmenar, A., Castro, 2017).

Pero la búsqueda no tiene límites, afortunadamente la naturaleza nos ofrece muchas opciones que no debemos dejar pasar, como el efecto piezoeléctrico y sobre todo el aprovechamiento del movimiento humano, de las personas al caminar, el movimiento de los vehículos para generar electricidad.

1.1.4 Energy Harvesting

La extracción de energía se define como capturar una pequeña cantidad de energía de una o más fuentes de energía en nuestro entorno, almacenándola o almacenándola para su uso posterior.(Tsaplev, Konovalov, & Abbakumov, 2015).

Por sistemas de recolección o recuperación de energía, nos referimos a aquellos responsables de recuperar, reutilizar y utilizar diferentes tipos de energía que se encuentran en el medio ambiente y que a menudo se desperdician. Los sistemas de recolección de energía se encargan de convertir diferentes tipos de energía (solar, calor, viento, ruido, vibración, etc.)(Peddigari et al., 2021).

La energía de vibración, que exploraremos con más detalle en este trabajo, es una de las fuentes de energía más simples que se encuentran en las estructuras de construcción, las máquinas o el cuerpo humano. Para aprovechar la energía en forma de oscilaciones, los tres principales sistemas de conversión en energía eléctrica son: convertidores electromagnéticos (bobinas magnéticas); convertidor electrostático (condensador); transductor piezoeléctrico(Latif, mohd noor, Yunas, & Hamzah, 2021).

Dentro de las diferentes formas de convertir energía en forma de vibraciones mecánicas en energía eléctrica, los sistemas piezoeléctricos son una de las maneras más efectivas y prácticas. Las principales ventajas de usar materiales y sistemas piezoeléctricos en Energy Harvesting (comparado con los transductores electromagnéticos y electrostáticos) son su mayor densidad de potencia y su fácil aplicación(Chilabi et al., 2020).

Debido al creciente uso de dispositivos inalámbricos, la recolección de energía se ha convertido en una alternativa a las baterías convencionales, ya que es una fuente de energía limpia y renovable.

En los últimos años, se han publicado 495.631 artículos y artículos sobre diversos tipos de aplicaciones de extracción de energía relacionadas con la vibración y las actividades diarias, se está realizando una amplia investigación sobre muchas tecnologías y aplicaciones que involucran energía generada pasivamente por el cuerpo humano, así como otros campos. aplicaciones en el campo de la ingeniería mecánica.

1.2 Métodos de transducción de energía mecánica a energía eléctrica

La capacidad de algunos dispositivos para convertir un tipo de energía en otro siempre ha sido objeto de investigación. Hay tres mecanismos principales para convertir las vibraciones en energía eléctrica: electromagnético, electrostático y piezoeléctrico. (Oliveira, Monteiro, & Martini Colombo, 2021).

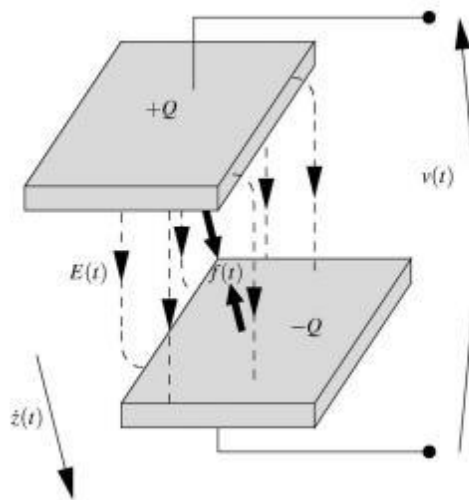
1.2.1 Transducción electrostática

La transducción electrostática es una generación de electricidad a pequeña escala, un generador electrostático es un condensador variable basado en un condensador que consta de placas paralelas que se pueden alejar o acercar debido a las ondas sonoras o la aplicación de tensión alterna. (Ladino, 2016). La transducción electrostática es poco práctica e ineficiente para operar máquinas grandes, pero es muy adecuada para sistemas microelectromecánicos (MEMS) porque opera en una escala relativamente pequeña. (Hoang, 2019).

La Figura 3 ilustra la estructura de placas paralelas con espaciado variable y superposición constante, y con un desplazamiento mínimo en el campo, la intensidad del campo es proporcional a la carga constante, por lo tanto, la densidad del campo eléctrico, independientemente de la distancia entre las copias. . (Mitcheson, Yeatman, Rao, Holmes, & Green, 2008).

Figura 3

Principio de Funcionamiento del Transductor



Nota. Adaptado de "Energy Harvesting from human and machine motion for wireless electronic devices" (p.1461), por D. Mitcheson, M. Yeatman, G. Rao, S. Holmes, C. Green, 2008, IEEE, 10.1109/JPROC.2008.927494.

1.2.2 Transducción por generador de rotación electromagnética

Tratado por un generador de corriente alterna de unos pocos vatios, funciona por un corto tiempo variando el flujo de cierre en el circuito con el tiempo, lo que produce una fuerza electromotriz a través de él, que tiende a generar produce una corriente giratoria, que al girar produce un magnético. campo. enjuagar. frente al cambio del flujo magnético inicial, la

variación temporal del flujo puede deberse al cambio del campo magnético inicial de la inducción con el tiempo. (Guerra & Márque, 2014).

1.2.3 Transducción piezoeléctrica

En la conversión piezoeléctrica, extraer electricidad de la energía ambiental ha hecho posible en los últimos años utilizar el efecto piezoeléctrico para alimentar dispositivos de baja potencia. (Li, Upadrashta, Yu, & Yang, 2019), Luego se puede almacenar y usar para alimentar otros dispositivos, como microscopios, escáneres, dispositivos de alineación láser, dispositivos de micro dispensación, estimuladores de sonido y más. (E.L, Udhayakumar, Mg, & Vivek, 2020).

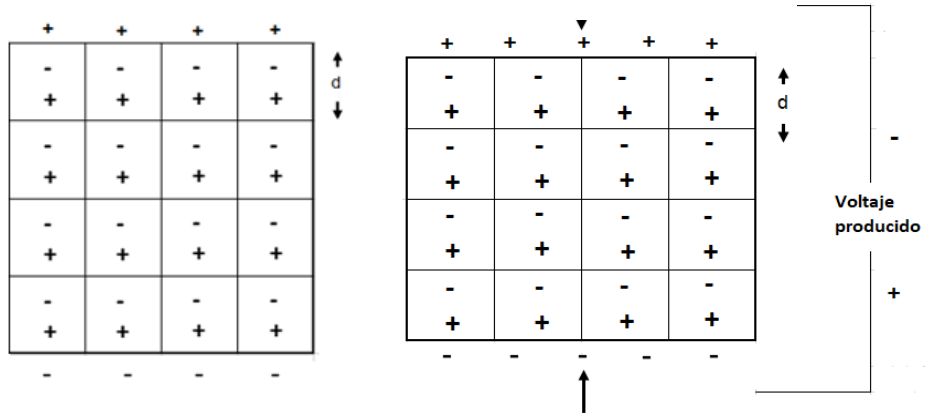
1.3 Efecto piezoeléctrico

El efecto piezoeléctrico es una propiedad única de algunos cristales que produce un campo eléctrico o corriente cuando se somete a estrés o tensión física, basado en la estructura básica de la red cristalina. Algunas estructuras cristalinas tienen un equilibrio de carga con el cátodo y el ánodo neutralizados a lo largo de un eje polar imaginario, cuando este equilibrio de carga es perturbado por un voltaje externo a través de la red, la energía se transfiere a través de partículas cargadas creando una corriente eléctrica en el cristal. la relación entre la piezoelectricidad y la simetría del cristal es proporcional. (Bera, 2016)

El efecto piezoeléctrico directo es el caso de piezoelectricidad más utilizado, se da cuando un cambio mecánico produce un voltaje entre diferentes terminales, este cambio puede ser una compresión que reduce la distancia entre los dipolos, por lo que hay un cambio de carga. se genera densidad en los extremos y tensión. Esta tensión está relacionada con la fuerza de compresión, cuanto más se deforma el material, mayor es la tensión. Como se ve en la imagen. La Figura 4 muestra el efecto piezoeléctrico directamente y en comparación con la estructura piezoeléctrica sin ninguna distorsión. (Sepúlveda Orozco, 2015).

Figura 4

Efecto piezoeléctrico directo

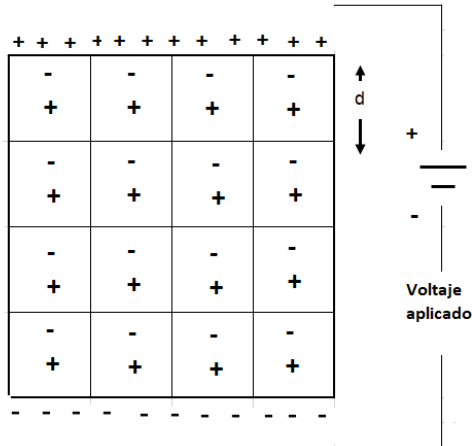


Nota. Adaptado de *Diseño de un prototipo de baldosas inteligentes de alto tráfico para implementación en el sistema de transporte público Transmilenio de la ciudad de Bogotá* (p.35), por a. Jaramillo, m. López, k. Muñoz, 2018, Universidad piloto de Colombia.

El efecto inverso en la piezoelectricidad ocurre cuando se aplica un campo eléctrico o voltaje a los extremos de un material piezoeléctrico, lo que hace que el material cambie de tamaño o se deforme. Esto se debe a que la densidad de la carga aplicada cambia el tamaño del material en relación con la dirección del campo, la carga positiva crea una atracción entre el cátodo y el dipolo, por lo que el efecto se invierte. El efecto piezoeléctrico indirecto corresponde al comportamiento observado en la Figura 5. (Sepúlveda Orozco, 2015).

Figura 5

Efecto piezoeléctrico inverso



Nota. Adaptado de *Diseño de un prototipo de baldosas inteligentes de alto tráfico para implementación en el sistema de transporte público Transmilenio de la ciudad de Bogotá* (p.35), por a. Jaramillo, m. López, k. Muñoz, 2018, Universidad piloto de Colombia.

1.3.1 Historia y definición de la piezoelectricidad

En 1880, los hermanos Jacques y Pierre Curie descubrieron el llamado efecto piezoeléctrico, realizando investigaciones sobre la compresión del cuarzo. Esto fue aplicado por primera vez por Paul Langevin a la producción de sonares durante la Primera Guerra Mundial, donde se usaron cristales de cuarzo unidos a un bloque de metal para generar ultrasonido en el rango de 10 kHz. Esta propuesta utiliza demasiada energía, lo que lleva a la búsqueda de mejores soluciones, como la síntesis piezoeléctrica. (Córdoba Luis, 2014).

La creación del sistema piezoeléctrico nació hace varios años atrás por lo que Luis Córdoba, (2014) considera que: Entre los años 40 y 60 EEUU y Japón dirigieron la investigación a la búsqueda y desarrollo de cerámicas piezoeléctricas como el titanato de bario (BaTiO_3) y el Titanato-Zirconato de Plomo (PZT) que responde a la fórmula general $\text{Pb}(\text{Ti}^x\text{-y}\text{Zr}_y)$ donde “y” varía entre 0,4-0,9.

Este tipo de cerámica tiene muchas ventajas sobre la piezoeléctrica natural (cuarzo) después de la polarización, incluso la tecnología utilizada está enfocada a sinterizar el polvo cerámico y luego darle forma por prensado o extrusión, permite la creación de geometrías complejas. Alrededor de 1970 se desarrollaron materiales poliméricos con propiedades piezoeléctricas, este innovador invento muestra una amplia gama de resultados electromecánicos instantáneos, algunos con requerimientos muy simples que pueden alcanzar altas fuerzas. (Córdoba Luis, 2014)

En 2009, una empresa de ingeniería israelí anunció el desarrollo de una nueva tecnología para generar electricidad a partir del peso, el movimiento y la vibración de los vehículos; Existen generadores especiales para tráfico rodado, ferroviario, de pista y peatonal. El producto más probado es el producto generador piezoeléctrico, instalado debajo de la carretera de asfalto, el generador se instala a una profundidad de 0,05 m sobre el suelo, en este caso, la presión del vehículo Convenience sobre el equipo se convierte en electricidad, proporcionando así energía para alumbrado público en zonas afectadas por carreteras Los indicadores obtenidos a partir de las mediciones aseguran la eficacia del sistema.

Según Oriol Barrufet Ibós en su artículo “Sistema piezoeléctrico de energy harvesting per l'enllumenat de evacuación de emergencia de un edificio” acerca de los proyectos ejecutados con esta tecnología: en 1987 fue constituida MicroStrain una compañía de Estados Unidos, su principal mercado es la introducción de sensores piezoeléctricos en aeroespacial, medicina, automoción y construcción. La energía generada se utiliza para controlar el estado y la estabilidad de la estructura. (Tamayo, D., & Cardos, 2017)

En el departamento de arquitectura de MIT (Massachusetts Institute of Technology) dos estudiantes llevaron una investigación en el año 2007 que tenía como objetivo demostrar la capacidad de los peatones en el espacio público. Propusieron la creación de una loseta la cual genera energía mecánica por medio del peso de los peatones a través de materiales piezoeléctricos. El generador está incorporado en la loseta y funciona por el movimiento vertical producido por los peatones. La propuesta ganó un concurso sobre construcciones sostenibles promovido por Holcim en suiza en el año 2007, la propuesta ganadora fue el modelo a instalar en la estación de tren en Turín, Italia, cada panel proporcionaba electricidad para 4 bombillos LED's. (Tamayo, D., & Cardos, 2017)

En el Ecuador no se han implementado aun proyectos piezoeléctricos, pero existen leyes que aportan todo tipo de investigación respecto al cuidado y protección del medio ambiente. Según La Constitución de la República del Ecuador (2018) considera que:

La constitución actual, en el art. 3, inciso 5, que muestra las tareas del estado "planificando un desarrollo nacional, eliminando la pobreza, promoviendo el desarrollo sostenible y la redistribución veraz de los recursos y la riqueza para abordar. Con una buena vida". El mismo documento, en la quinta sección, relacionado con la educación, en el art. 27 Dijo que "la educación se centrará en una persona y garantizará su desarrollo integral como parte del respeto por los derechos humanos, el entorno sostenible y democrático; será necesariamente contacto. Cultura, democracia, integración y diversidad, calidad y calor; Will; Contribuir a la igualdad del sexo, la justicia, la solidaridad y el mundo; estimulará el significado importante, el arte y la literatura, las iniciativas físicas y sociales y sociales, así como desarrollarán capacidad y oportunidades para crear y trabajar ".

Definición de piezoelectricidad

La palabra piezoelectricidad proviene de la palabra griega piezein y significa electricidad bajo presión (del griego piezo que significa presión). El nombre efecto piezoeléctrico fue propuesto por Hankel en 1881 para denominar el descubrimiento de los hermanos Curie un año antes. (Arnaun, 2008, pág. 11 citado por Gómez 2018).

La piezoelectricidad es la propiedad de algunas sustancias cristalinas no conductoras de electricidad que, al deformarse, producen cargas opuestas en sus superficies. (Vicioli, 2009, págs. 9, citado por Pérez, Velázquez 2016).

1.3.2 Materiales Piezoeléctricos

Hasta el día de hoy, la piezoelectricidad se ha asociado con una variedad de materiales; La piezoelectricidad se descubrió por primera vez en minerales naturales como el cuarzo, la turmalina, el topacio y la sal de Rochelle (tetrahidrato de tartrato de sodio y potasio o $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Todos los demás cristales de torta, como el dihidrofosfato de amonio $[\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4]$, el ortofosfato de galio $[\text{GaPO}_4]$ y los óxidos complejos de galio y lantano se producen artificialmente..(Bhavsar et al., 2021)

Los materiales piezoeléctricos son cristales naturales o sintéticos sin centro de simetría. Se pueden combinar en 2 grupos.

- Cristales piezoeléctricos naturales
- Cristales piezoeléctricos sintéticos.

Naturales

Estos son materiales cristalinos que no tienen centro de simetría y, como su nombre indica, se encuentran en la naturaleza. Las propiedades piezoeléctricas mostradas son inherentes. Los materiales piezoeléctricos naturales más comunes son el cuarzo, la turmalina y la sal de Rochelle.

Cuarzo

Pertenece a la clase de los silicatos. Todo el cristal de cuarzo tiene una sección transversal hexagonal con puntas puntiagudas. Hay tres conjuntos de ejes asociados con el cristal: óptico, eléctrico y mecánico. El eje longitudinal que conecta los extremos con los extremos del cristal se denomina eje Z o eje óptico. La X, o eje eléctrico, corre en diagonal a través de las esquinas opuestas del hexágono. El eje perpendicular a la superficie del cristal se denomina eje Y o eje mecánico.

Turmalina.

La estructura de la turmalina está formada por anillos de tetraedros enlazados, con una relación Si:O = 1:3, que da lugar a una configuración cíclica cerrada Si_6O_{18} . (Moreiras et al., 1991)

La turmalina pertenece al grupo silicato/ciclosilicato. Cristalizan en disposición triangular, generalmente en forma de columna alargada con una extensión vertical característica en las caras del prisma y un triángulo esférico en las secciones transversales. Los cristales de turmalina se polarizan con el impacto, como los cristales de cuarzo, sujetos a tensión mecánica y compresión.(Tassinari et al., 2015)

Sal de Rochelle

Es una sal soluble en agua y poco soluble en alcohol, con propiedades birrefringentes. Se llama sal de Pierre Seignette en honor al farmacéutico La Rochelle, quien la sintetizó en 1675. Cristaliza en forma de prisma rómbico y tiene una composición de $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.(Tassinari et al., 2015)

Sintéticos

Cuando hablamos de materiales piezoeléctricos sintéticos o artificiales, nos referimos a aquellos materiales, especialmente cerámicos y polímeros, que no presentan esta propiedad en condiciones naturales; pero pueden representarlo bajo la influencia de factores externos.

Las cerámicas piezoeléctricas son sólidos, como los que se utilizan en los aisladores; Están compuestos por numerosos cristales microscópicos de hierro, a los que incluso se les llama poli cristales.(A. Pereira, 2010)

En la actualidad el grupo dominante de materiales piezoeléctricos es el de los materiales consistentes en cristalitas con la estructura del perovskita. Los ejemplos más representativos de los piezoeléctricos cerámicos son el Titanato de Plomo, Titanato de Bario, Titanato Zirconato de Plomo, Titanato Zirconatoicos, sintéticos, piezoeléctricos, se adhiere un tercer grupo que presenta la misma serie de propiedades piezoeléctricas, se trata del grupo de los polímeros. Los únicos polímeros piezoeléctricos existentes en el mercado son el Difluoruro de Polivinilo (PVDF) y sus copolímeros con Trifluoroetileno y Tetratrufluoroetileno. (Bhavsar et al., 2021)

Las cerámicas tipo PZT, hechas de cristales ferroeléctricos, tienen una estructura de simetría tetraédrica, tetraédrica o cúbica simple, dependiendo de la temperatura a la que se almacene el material. A la temperatura crítica, denominada temperatura de Curie, la estructura de los cristales ferroeléctricos que forman el perovskita tiene una simetría tetragonal en la que el centro de simetría de las cargas positivas no coincide con el centro de simetría de las cargas negativas, dando lugar a los dipolos eléctricos. La existencia de este dipolo hace que la estructura cristalina se deforme en presencia de un campo eléctrico, creando un cambio eléctrico durante la deformación mecánica, respectivamente, que caracteriza los efectos piezoeléctricos directos e inversos.(A. Pereira, 2010)

1.3.3 Propiedades y características de los materiales Piezoeléctricos

El efecto piezoeléctrico se ha encontrado en materiales naturales como el cuarzo, la turmalina, la sal de Rochelle y el topacio; Con el tiempo se fueron descubriendo materiales como la cerámica y el policristalino, que presentaban propiedades mejoradas como dureza, ductilidad, entre otras. Actualmente, los materiales más utilizados son el titanato de bario (BaTiO_3) y el circonato de plomo (PZT).(Tassinari et al., 2015)

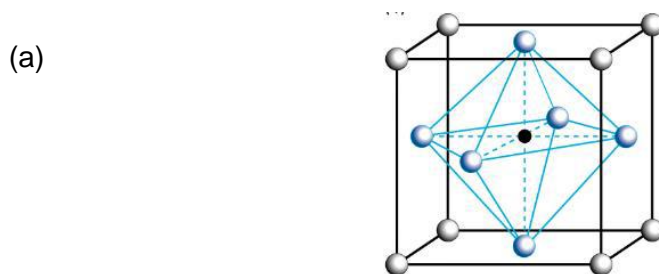
El desplazamiento de la cerámica PZT depende de la fuerza del campo eléctrico aplicado E , el material utilizado y la longitud de la cerámica PZT L . Las propiedades de este material pueden describirse mediante los coeficientes de deformación de las unidades piezoeléctricas. Estos coeficientes describen la relación entre el campo eléctrico aplicado y la tensión mecánica generada..(Tassinari et al., 2015)

Los materiales piezoeléctricos tienen una propiedad única conocida como efecto piezoeléctrico. Cuando estos materiales se someten a esfuerzos de compresión o tracción, se crea un campo eléctrico en el material, creando un gradiente de voltaje seguido de una corriente eléctrica. Este efecto se debe a la naturaleza asimétrica de la celda unitaria cuando se aplica voltaje.(Katz, 2014)

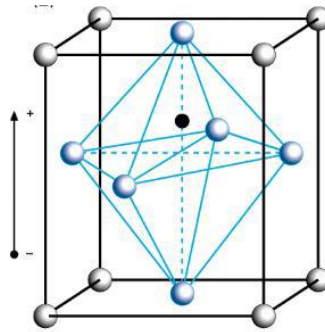
La celda piezoeléctrica contiene una pequeña partícula cargada positivamente en el centro de la Figura 6 (a), cuando se aplica una fuerza, la partícula se mueve en la dirección que produce la subsiguiente distribución de carga y campo eléctrico en la Figura 6 (b). Los materiales piezoeléctricos vienen en muchas formas, la más común es la cristalina, pero también se encuentran plásticos y cerámicas. (Katz, 2014)

Figura 6

Celda piezoeléctrica (a) antes de polarizarse (b) Después de polarizarse



(b)



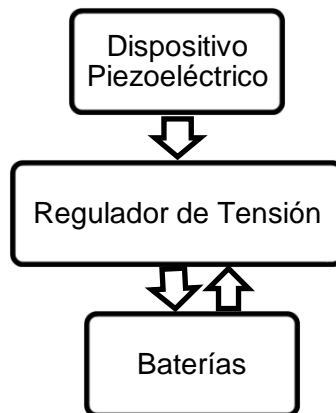
Nota. Adaptado de Análisis de viabilidad para desarrollo de prototipo de acera que produce electricidad (p.15), por R. Zapata B. Rueda, 2012, Universidad de San Buenaventura.

1.4 Sistema Piezoeléctrico

Para realizar el sistema piezoeléctrico como una fuente de energía segura y confiable, las unidades piezoeléctricas (placas piezoeléctricas) deben integrarse en reguladores de voltaje, inversores o reguladores de carga, así como en baterías, que pueden conectarse como se muestra en la Figura. 7.

Figura 7

Esquema estructural del Sistema de Generación Piezoeléctrica



Donde el sistema piezoeléctrico igualmente puede estar compuesto por un conjunto de baldosas piezoeléctricas que capten las pisadas de quienes transitar sobre ellas, y así genere la corriente que se acumule en las baterías.

1.4.1 Dispositivos piezoeléctricos

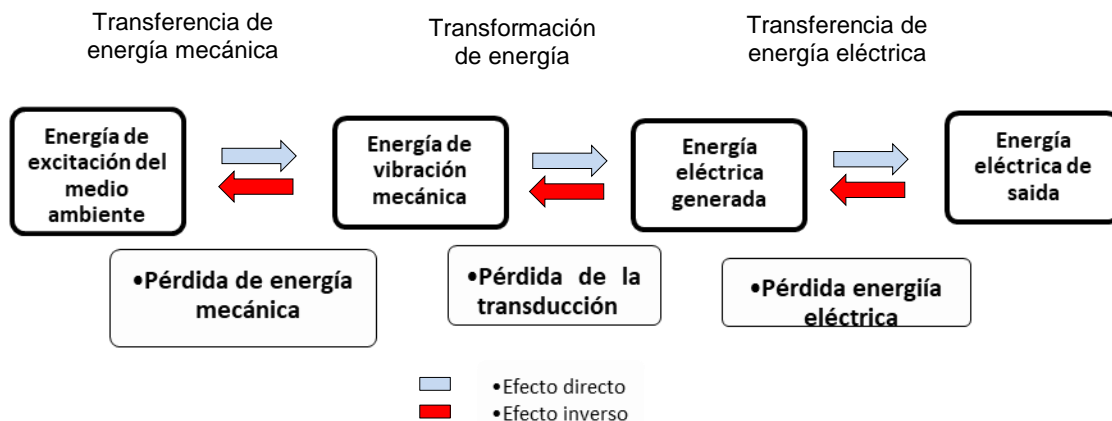
En principio, la piezoelectricidad se puede utilizar para generar electricidad por medio de deformaciones o esfuerzos mecánicos para proporcionar la electricidad necesaria para satisfacer la demanda del consumidor o el servicio, sin embargo, existen otros cuatro grupos de dispositivos que se distinguen entre sí; generadores, sensores, accionamientos y

convertidores. Los dispositivos generadores generan electricidad debido a las deformaciones a las que están sometidos y se distinguen tres grupos de generadores; Baterías de carga estática, carga dinámica y estado sólido.(Run, 2011)

Un generador de carga electrostática se usa comúnmente para crear una chispa entre dos electrodos en un sistema de encendido, siendo el caso más común un encendedor eléctrico, aunque la señal eléctrica puede rectificarse electrónicamente para usarse como fuente de energía. , caso del presente estudio, en el que se está trabajando en el desarrollo de cerámicas piezoeléctricas para la captación de energía del tráfico de peatones y vehículos en los pasos de peatones. Los dispositivos piezoeléctricos o paneles piezoeléctricos en nuestro caso de estudio utilizan el efecto piezoeléctrico directo. Estructuralmente, las dos placas están colocadas encima de la placa, separadas y pueden deslizarse una respecto a la otra cuando se pisan, por ejemplo, por resortes o por el borde de una alfombra. Hay un material piezoeléctrico dentro de las placas, y al aplicar presión a la placa, las placas se mueven y presionan contra el material piezoeléctrico, luego la energía mecánica se convierte en energía eléctrica. Sin embargo, durante la transición de energía en el efecto piezoeléctrico, la energía mecánica proveniente del medio y que acciona el dispositivo se convierte en energía eléctrica y, como en cualquier fenómeno físico, una parte de la pérdida en todo el proceso, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Proceso de transformación de energía, efecto piezoeléctrico



Este proceso de transformación de energía por el efecto piezoeléctrico nos muestra como está relacionado todos estos procesos para producir energía eléctrica.

1.4.2 Regulador de tensión

La función principal de un regulador de voltaje en un sistema piezoeléctrico es proteger la batería de sobrecargas o sobredescargas y de cortocircuitos, ya que cualquier instalación eléctrica que utilice cargas impredecibles puede cargar o descargar la batería requiere un regulador de carga. puede acortar la vida útil de la batería y reducir la capacidad de carga. (Henríquez P., 2012)

Por lo tanto, el regulador controlará el rango de voltaje permisible en la batería del sistema piezoeléctrico, siempre que el voltaje suministrado a la batería no exceda ni sea inferior al rango permisible de la batería; cuando la diferencia de voltaje entre el regulador y la batería disminuye, el regulador aumenta el voltaje de carga (carga grande) y viceversa el regulador disminuye el voltaje cuando el nivel de carga de la batería llega al 100% (absorción) y el regulador solo suministra voltaje sostenido a la batería para mantener la batería cargada al 100%.

1.4.3 Batería o acumulador de energía generada

Las baterías se consideran lugares de almacenamiento de la energía generada por los dispositivos piezoeléctricos. La batería captará la energía generada por la piezoelectricidad, que no es consumida inmediatamente por la carga, para el caso que se considere iluminar líneas de comunicación externas entre edificios departamentales. El uso del acumulador permite la acumulación de energía debido a la colocación de paneles piezoeléctricos durante el día para satisfacer las necesidades de iluminación durante la noche, y la energía acumulada también puede ser utilizada durante el tiempo en que los estudiantes, profesores e invitados no transitan.

Las baterías o acumuladores son uno de los elementos clave de este método de obtención de energía, y su capacidad varía según el tipo, la calidad de la mano de obra, la temperatura de funcionamiento, la antigüedad y el grado de descarga. Los tipos de baterías que se encuentran en el mercado se construyen en función de los clientes potenciales (económicos), incluidas las baterías líquidas son sus productos más antiguos y simples, que permiten precios favorables, existentes en una versión abierta con tapas, lo que le permite reemplazar el agua o el mantenimiento gratuito del Versión, cerrada, pero con válvulas, gracias al gas que puede fluir durante la carga excesiva, batería como el oxígeno y el hidrógeno de los paneles durante el proceso de carga, y por lo tanto elimina la pérdida de agua, si no están sobrecargados, hay dos tipos principales. ; Las personas involucradas en la consistencia de gel y AGM (alfombra de vidrio absorbido), en las que los ácidos se colocan en

fibra de vidrio, especialmente otras baterías hechas de iones de litio (litio de litio (litio), como como se usa en teléfonos móviles y móviles y computadoras. Con las características de las características, el gobierno se está desarrollando y reemplazando cada vez más a más clientes potenciales.(Delta Volt, 2021)

1.5 Aplicaciones

Actualmente, las cerámicas piezoeléctricas tienen múltiples aplicaciones en todos los campos de la tecnología. Esta sección cubre las áreas generales (sensores, actuadores, transductores, acelerómetros, generadores) donde podemos dividir las aplicaciones cerámicas.

1.5.1 Sensores

Los sensores piezoeléctricos convierten la entrada física (aceleración, presión, etc.) en una señal eléctrica que se utiliza como entrada para un sistema de procesamiento de datos. Para estas aplicaciones táctiles se utilizan cerámicas blandas con altos coeficientes de acoplamiento electromecánico y grandes constantes piezoeléctricas.(APC International, 2011)

Los sensores piezoeléctricos típicos solo generan una señal cuando cambia la presión aplicada. Con una entrada estacionaria o variable, las cargas libres se dirigen hacia los dipolos, descargando un voltaje piezoeléctrico. Si se aplica una nueva presión, la carga se restablecerá, pero si se mantiene esta presión, se descargará nuevamente.

Por el contrario, los sensores, según el campo de actividad: La cerámica se utiliza en aplicaciones de detección activa que miden el tiempo de respuesta (eco) de un pulso enviado a una superficie o el tiempo entre el transmisor y el receptor. El transmisor es resonante y el receptor es antirresonante. Pasivo: la cerámica se utiliza en sensores pasivos que funcionan por debajo de su frecuencia resonante, lo que les permite recibir señales en un amplio rango de frecuencia.

1.5.2 Actuadores

Los actuadores piezoeléctricos convierten las señales eléctricas en un movimiento físico preciso. Si esta entrada eléctrica impide el movimiento, se obtiene una fuerza de bloqueo útil según la aplicación.(APC International, 2011)

Debido a su diseño simple, se utilizan en innumerables campos de la industria, la medicina, la aviación, el espacio, etc. Debido a su funcionamiento silencioso, también se utilizan en lentes y enfoque automático para cámaras y teléfonos móviles.

Si usamos el actuador de pila obtenemos una resolución muy alta. Los actuadores piezoeléctricos pueden funcionar millones de veces sin desgaste. Se caracterizan por una alta tasa de respuesta, limitada únicamente por la inercia del objeto en movimiento y las capacidades de la unidad de control electrónico. Casi no utilizan energía y generan muy poco calor.(APC International, 2011)

1.5.3 Transductores

Un convertidor es cualquier dispositivo que convierte una forma de energía en otra. Un transductor piezoeléctrico es un tipo de transductor electroacústico que convierte la energía eléctrica producida por las cerámicas piezoeléctricas en otro tipo de energía.

Un tipo muy útil de transductor piezoeléctrico es el transductor piezoeléctrico ultrasónico, que produce ondas sonoras a frecuencias superiores a las del oído humano. Se utiliza para la limpieza y asegura una alta eficiencia electroacústica.

Los convertidores se utilizan en muchas aplicaciones, tales como: automotriz, hogar, industrial, electrónica, guitarra, etc.

1.5.4 Acelerómetros

Un acelerómetro es un dispositivo empleado para medir la aceleración, ya sea estática o dinámica, de un sistema. El funcionamiento básico de un acelerómetro es una masa suspendida y restringida por un transductor calibrado para detectar fuerza.(Urueña Orellana, 2021)

La sonda mide la fuerza ejercida sobre la masa debido a la aceleración. Si desea medir la aceleración en diferentes direcciones, debe integrar múltiples masas y sondas en un dispositivo compacto para lograr acelerómetros multi eje.

Por otro lado, los acelerómetros pueden contener circuitos de acondicionamiento de señales incorporados. Este circuito procesa y convierte la señal de voltaje del sensor para facilitar el manejo de los dispositivos. (Ochoa, Villegas, Pons Rovira, Fernández Lozano, & Bengochea, 2002).

Se usan en diferentes aplicaciones como pueden ser: automoción, seguridad, drones, control de estabilidad en vehículos, sensores sísmicos, aviación, etc.

1.5.5 Generadores

Un generador piezoeléctrico es una cerámica piezoeléctrica que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. A diferencia de un sensor u otro tipo de dispositivo

piezoeléctrico que es capaz de convertir energía mecánica en energía eléctrica, los generadores están diseñados para convertir la mayor cantidad de energía posible.

El diseño correcto es esencial para conversiones efectivas. La configuración elegida para el generador es de gran importancia, así como el tipo de material piezoeléctrico. También hay que tener en cuenta la fuerza a la que se verá sometida la cerámica y la impedancia de carga.

Los generadores piezoeléctricos pueden ser monocapa o multicapa. La principal diferencia entre los dos es el voltaje generado. Los generadores multicapa usan menos voltaje y más corriente que los generadores de una sola capa.

CAPÍTULO 2

Diseño de una cerámica piezoeléctrica para generar energía eléctrica

En este capítulo se presenta el diseño de una cerámica piezoeléctrica y el correcto almacenamiento de la energía generada. Como desarrollo subsecuente a los fundamentos teóricos y dando seguimiento a los objetivos planteados; se realiza el diseño y la construcción, etapa por etapa, de una cerámica de recolección energética a través de generadores piezoeléctricos.

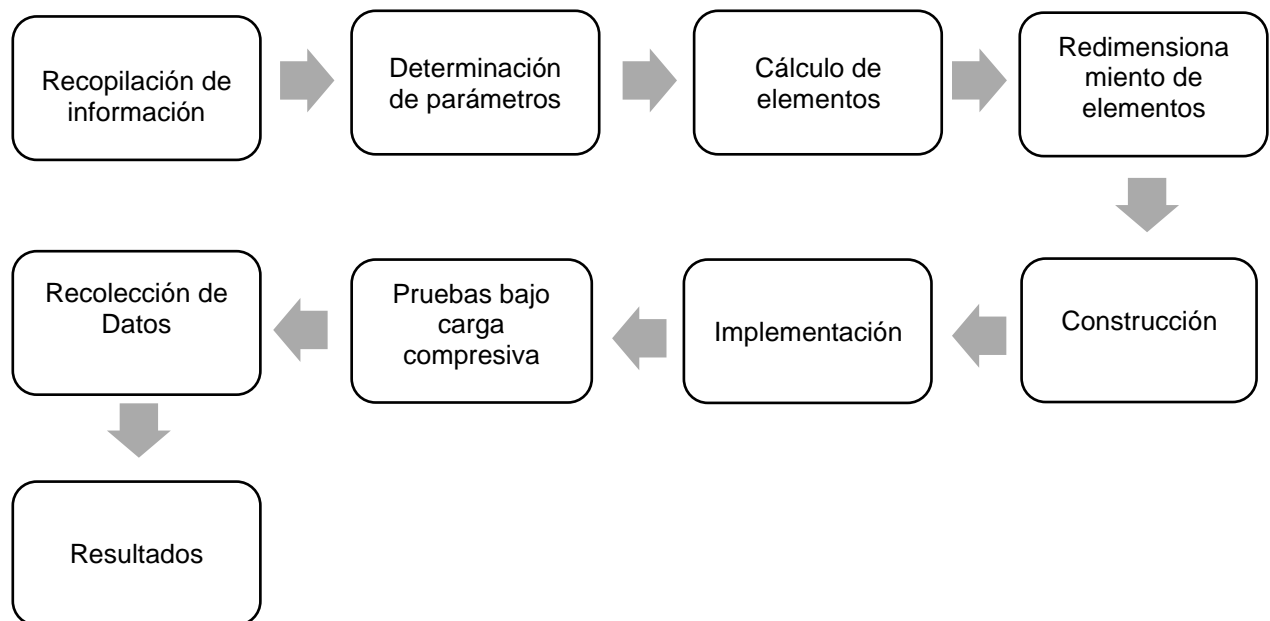
2.1 Metodología del proyecto

Para la realización del presente trabajo se empleó una metodología con el fin de determinar las técnicas y el proceso que permitió llevar a cabo la investigación de manera ordenada y con un sentido lógico de manera técnica.

El procedimiento que se llevará a cabo para desarrollar el trabajo se dividirá en las siguientes etapas como se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Procedimiento para el diseño de cerámica Piezoeléctrica



Nuestro flujo de trabajo incluye principalmente consultoría e investigación en revistas, publicaciones, artículos científicos, proyectos de grado y sitios web como IEEE Explore o EBSCO, lo que nos permite recopilar datos relevantes para el proyecto.

El levantamiento de información es el trabajo que se realiza en el proceso de elaboración de la tesis de maestría, debido a que esta es una actividad que va de la mano con cada paso planteado en cada proyecto. Es muy importante recabar información de diversas fuentes confiables para un adecuado sustento y así lograr el correcto desarrollo del proyecto.

El desarrollo de generadores piezoeléctricos tiene como objetivo convertir la energía mecánica en energía eléctrica a partir de los pasos humanos. La idea de capturar energía de una huella humana; es estudiarlo, es decir, cuánta energía mecánica se puede extraer de él. Para los efectos de este proyecto y de acuerdo con sus requerimientos, solo se considerarán los parámetros principales del material especificado; estos son el diámetro piezoeléctrico, el grado de deformación alcanzado, la fuerza que actúa sobre el material y la resistencia de los transductores piezoeléctricos. Para determinar el material más adecuado, es importante seleccionar el mejor material para la cerámica, teniendo en cuenta la rigidez, la deformación bajo cargas dinámicas y la interacción con el medio ambiente cuando se instala en espacios abiertos. Selección del dispositivo piezoeléctrico: Se debe seleccionar el dispositivo piezoeléctrico más adecuado para generar suficiente electricidad almacenada en la batería. En esta actividad es importante consultar los proveedores o fabricantes de piezoelectricidad para obtener sus datos y especificaciones técnicas y finalmente elegir el proveedor o fabricante más adecuado con el requerimiento.

Generación de Diseño Conceptual: Se deben considerar varias alternativas para el montaje entre la oblea y el elemento piezoeléctrico. Después de analizarlos y compararlos mediante la matriz de selección, debe elegir el que mejor se adapte a los requisitos del proyecto. Planificación detallada: una vez que se completa el diseño conceptual, se debe realizar un diseño detallado del sistema para optimizar la solución para que sea lo más eficiente posible. Como parte de esta actividad, es importante desarrollar modelos CAD. Diseñar un circuito que transfiera la energía generada por el piezoeléctrico: En este paso se debe diseñar un circuito electrónico que regule la energía generada por el piezoeléctrico mediante un software como Proteus y la almacene en la memoria del sistema como una batería. Diseño del circuito de almacenamiento: este ejercicio se centra en el diseño del circuito de almacenamiento de energía del sistema de baterías. Esto se hará en Proteus. Simulación del sistema electrónico: permite visualizar la potencia media e instantánea del

sistema cuando está expuesto a los peatones. Esta actividad es necesaria para determinar la eficiencia del sistema, lo que en última instancia significa en qué medida se construirá el sistema en el futuro desde el punto de vista de su funcionalidad. Se llevaron a cabo una serie de actividades de recopilación de datos para determinar cuántas personas pasaban por el letrero y determinar, en función del peso, el tiempo que tomó cargar completamente el paquete de baterías de 12 voltios. Y puede observar el cambio de voltaje con el tiempo en el gráfico. Dependiendo del peso de una persona, se puede comparar la tensión al pisar el ladrillo y los datos resultantes se presentarán en forma de gráfico. Asimismo, para los vehículos, la fuerza que actúa sobre la cerámica se compara con la velocidad de movimiento para obtener la tensión resultante.

2.2 Medición tránsito peatonal de la Carrera de Electricidad.

El análisis de flujo de tránsito peatonal de la Carrera de Electricidad permitirá determinar las variables de medición y el procedimiento para someter esta información al análisis que concluya en el potencial eléctrico existente por el volumen de tránsito de estudiantes, docentes que ingresan y/o salen por las porterías de la carrera.

2.2.1 Planeación de la medición.

Para definir como realizar la medición del flujo peatonal de ingresos y salidas de estudiantes, docentes y visitantes se realiza un análisis visual de los espacios de la carrera, y se determina utilizar las listas de los estudiantes por curso matriculado en este periodo académico para poder estimar la cantidad de personas que ingresan, para el periodo comprendido entre martes 19 al viernes 22 de julio de 2022.

Se podrá comparar con la adquisición de datos obtenidos por medio del voltaje generado por la pisada del peatón, la cual será realizada por un programa que censará el voltaje producido por la pisada y será visualizado en un archivo .txt gracias a la IDE de Arduino.

2.2.2 Conteo del tránsito peatonal.

Con la adquisición de datos en la portería peatonal principal de la carrera de Electricidad, se procede a censar el tránsito de estudiantes, docentes y visitantes por medio de un dispositivo de conteo automático.

Saber cuántos estudiantes, docentes y visitantes salen, cuáles son las horas y días de mayor afluencia, cómo se distribuyen y cómo se comportan, permitirá conocer el entorno que concluirá con las variables necesarias para establecer el potencial eléctrico existente en estos

espacios, y que posteriormente serán el insumo de la proyección óptima de los dispositivos piezoeléctricos como generadores de fuentes de energía eléctrica.

2.3 Impulso Mecánico

El desarrollo de los generadores piezoeléctricos tuvo como objetivo convertir la energía mecánica en energía eléctrica a partir de las etapas en movimiento de personas o automóviles. El generador en desarrollo incluye una gama de paneles piezoeléctricos destinados a reemplazar las placas inertes existentes. Una diferencia notable es que pueden generar electricidad deformando mecánicamente un grupo de discos piezoeléctricos.

2.4 Método de generación de energía a través del tránsito peatonal

La idea de obtener energía a partir de la huella humana está relacionada con el estudio de esta, es decir, cuánta energía mecánica se puede obtener de ella.

Para calcular la potencia obtenida en base al número de pasos dados usamos la Ecuación 1:

$$(P)(g)(h_{pt})\left(\frac{2 \text{ pasos}}{\text{segundo}}\right) = p(W) \quad (1)$$

Donde:

P : es el peso de la persona en Kg .

g : es la aceleración de la gravedad en m/s^2 .

h_{pt} : es la altura del tobillo con relación al piso en m .

p : es la potencia medida en W .

Un estudio realizado por T. Starnier revela que El "Human-powered wearable computing", revela que se pueden obtener hasta 73,5 watt de potencia a partir de un golpe de talón durante una caminata. Esta cantidad de potencia puede ser provista por una persona con un peso aproximado de 75 kg. La constancia de la caminata es equivalente a hacer 2 pasos/segundo, con el talón moviéndose 5cm (T. Starnier, 1996).

2.5 Método de generación de energía a través del tránsito de un vehículo ligero

Se ha propuesto la construcción de un generador piezoeléctrico que permita reutilizar la energía generada en el pavimento durante el paso de los vehículos. Para ello, se determinan las condiciones de funcionamiento, se propone un modelo para calcular la potencia que puede

generar y, finalmente, su reserva. Para ello se consultaron las fichas técnicas de algunos de los vehículos más utilizados en la comunidad de la Universidad Técnica del Norte.

En primer lugar, se simularán automóviles de pasajeros, los cuales representan alrededor del 90% del tráfico en función de la vía en la ciudad de Ibarra. Aunque su peso total varía de 800 a 3.000 kg, tras estudiar las características de los principales modelos, el peso medio de un turismo en plena configuración se estima en 1.400 kg.

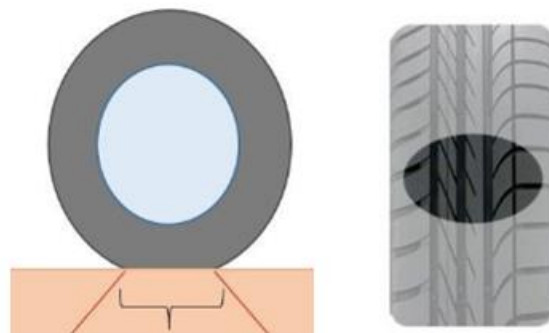
Pero tener el peso no es lo suficiente para saber la fuerza que ejercerá el vehículo sobre el material piezoeléctrico, para ello es necesario calcular cual es la presión que produce cada una de las ruedas sobre el firme. Para ello se realizan los siguientes cálculos, primero la fuerza total ejercida por el vehículo lo cual utilizamos la Ecuación 2.

$$F_{total} = m \cdot a \quad (2)$$

Para encontrar la fuerza total ejercida por el vehículo se reemplaza los datos antes mencionados en la Ecuación 2 dando como resultado 8.624 kN. Pero teniendo en cuenta que esta fuerza se reparte entre las cuatro ruedas, cada una de ellas ejercerá una fuerza proporcional de 2.156 kN. Se estima que una rueda tiene una superficie de contacto de 20cm x 10cm, lo que equivale a 200 cm^2 , aunque la superficie de contacto de la rueda sea en realidad mas parecida a un elipsoide como se observa en la Figura 11.(Agudelo Zapata, 2016)(MOTORGIGA, 2022)

Figura 10

Superficie de contacto entre el neumático y la carretera



Nota. Adaptado de Área de contacto [fotografía], por A. Zapata, 2016, Estructurando (<https://estructurando.net/>), CC BY-SA

Teniendo en cuenta entonces la superficie total de contacto que se repartirá la fuerza como se refleja en la Ecuación 3:

$$\text{Presión} = F_{\text{Rueda}} / \text{Superficie de contacto } m^2 \quad (3)$$

La presión resultante al aplicar una fuerza 1.156 kN sobre el área de contacto de 0,02 m² es de 0,17 MPa.

2.6 Cálculos de los parámetros eléctricos y mecánicos aplicables al material piezoeléctrico PZT.

La elección del material piezoeléctrico (PZT) se debe a su amplia presencia en el mercado, bajo costo, propiedades generadoras superiores y mejores que la piezoelectricidad natural, y diseño compacto y geométrico.

Además de un mejor rendimiento de polarización. Para un análisis completo de los generadores de piso (placa) hechos de materiales cerámicos piezoeléctricos, es necesario tener en cuenta los parámetros de este material, que se enumeran a continuación.

- Tipo de material piezoeléctrico.
- Constante piezoeléctrica.
- Dimensiones del piezoeléctrico.
- Nivel de deformación.
- Pérdidas de carga.
- Capacitancia estática del piezoeléctrico.
- Fuerza ejercida sobre el material.
- Resistencia de los transductores piezoeléctricos.

2.6.1 Modelo matemático para los parámetros eléctricos

El trabajo presenta la base matemática correspondiente a los valores de tensión generados calculados por la Ecuación 4 y los valores teóricos de la corriente expresados por cada grupo de elementos piezoeléctricos, así como la potencia que pueden generar.

2.6.1.1 Tensión eléctrica por deformación

Para calcular el tensión eléctrica que se produce cuando se deforma la cerámica piezoeléctrica, es necesario conocer la constante piezoeléctrica correspondiente al material. Esta constante define la relación entre el cambio de tamaño (Δl) del material piezoeléctrico

en metros y la diferencia de potencial aplicada en voltios. Determine la generación de cargas en culombios y la fuerza que actúa sobre el objeto en newtons.

La Ecuación 4 define la tensión generada por una carga mecánica que actúa sobre un área determinada de un piezoeléctrico PZT (Johnson Matthey, 2017).

$$V = \left(-g_{33} * h * \frac{f}{A} \right) = - \left(g_{33} * h * \left(\frac{f}{d^2 * \frac{\pi}{4}} \right) \right) \quad (4)$$

Donde:

V: Es la tensión pico esperado por la deformación del material. (V)

g₃₃: Constante piezoeléctrica. (Vm/N)

h: Longitud o grosor del piezoeléctrico. (mm)

f: Fuerza que se le imprime al cerámico piezoeléctrico. (N)

d: Diámetro efectivo del cerámico piezoeléctrico.

A: Área del cerámico piezoeléctrico. (m²). A la fuerza aplicada sobre esta área se le denomina también nivel de estrés del material piezoeléctrico.

En este caso, para un disco PZT (Zirconato Titanato de Plomo) de 35mm de diámetro en su diafragma y 23mm de diámetro en el cerámico, la constante piezoeléctrica es del orden de: $25 \times 10^{-3} \text{ Vm/N}$ (Alves, 2012).

2.6.1.2 Intensidad de corriente.

Los dispositivos piezoeléctricos conectados en paralelo mantienen el mismo voltaje independientemente del número de dispositivos conectados. Sin embargo, la corriente varía según el número de componentes conectados, así como su impedancia.

Por su naturaleza, los materiales utilizados tienen una alta impedancia, alrededor de 400 ohmios. Aparentemente, este no es un valor importante, sin embargo, debido a la naturaleza de la propiedad, se considera una potencia alta. Debido a la alta resistencia al flujo de energía eléctrica, el valor actual es muy pequeño. Estos valores están en unidades de miliamperios; En el caso de materiales cerámicos se considera una corriente de base del orden de 1 mA.(VALENCIA & RUEDA, 2012).

2.6.1.3 Potencia generada

La potencia generada a partir del accionamiento del generador está definida como el producto de la tensión de salida por la intensidad de corriente. Esta potencia se calcula a través de la Ecuación 5.

$$P = (V)(I) \quad (5)$$

Donde:

P: es la potencia generada en vatios (W).

V: es el voltaje que circula por el circuito en voltios (V).

I: es la intensidad de corriente en amperios (A).

2.6.2 Modelo matemático aplicado a los parámetros mecánicos.

Así como el desarrollo de las matemáticas relacionadas con los patrones eléctricos; Por tanto, el rendimiento de los generadores cuyos pilares son dispositivos piezoeléctricos debe basarse en los sistemas eléctricos que operan sobre ellos.

2.6.2.1 Fuerza aplicada a los discos piezoeléctricos.

Para el cálculo de la fuerza que se ve ejercida o aplicada sobre los discos cerámicos, se utilizará la Ecuación 6.

La fuerza aplicada se estima considerando el peso promedio de la población mundial; esto es un peso aproximado de 75 kilogramos y la fuerza de gravedad de la tierra a nivel del mar (Benítez Varela, 2019).

$$f = m * g \quad (6)$$

Donde:

m : es la masa del objeto que activa el piezoeléctrico. (Kg)

g : corresponde a la constante de gravedad equivalente a 9.81 m/s^2 .

2.6.2.2 Energía mecánica (Em):

La energía mecánica de un cuerpo es la suma de la energía cinética y la energía potencial. Con base en los datos obtenidos anteriormente, se calculará la constante de elasticidad K considerando el peso de la persona más alta.

Para la constante Elastica: $F = -k_{\Delta}^x$

Peso: $P = m \cdot g$

Deformación: $X = 0.003m$

$\Sigma F = m \cdot a$

$$P - F = 0$$

$$P = F$$

$$P = KX$$

$$P = K \cdot 0.003$$

$$K = \frac{P}{X}$$

$$EM = EC + EPE + EPG \quad (7)$$

$$EPE = \frac{1}{2} \cdot K \cdot X^2 \quad (8)$$

$$EPG = mgh \quad (9)$$

$$EC = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (10)$$

2.6.2.3 Área efectiva de acción del disco

El área efectiva del disco piezoeléctrico es el área donde se concentra el material cerámico. La Ecuación 7 le permite calcular el área especificada a partir del diámetro del disco. (A, Serway. Thompson, 2008)

$$A = \frac{(\text{Área del Cerámico}^2 AC)(\pi)}{4} \quad (11)$$

Donde:

A: área efectiva de acción del disco.

π : 3.1416 Cte.

AC: área total del cerámico en m^2 .

2.6.2.4 Parámetros físicos de la cerámica piezoeléctrica

Las propiedades físicas de la muestra se confirmaron analizando los parámetros físicos de la lámina piezoeléctrica en términos de peso específico (N/m³), resistencia (Ω), conductividad (S/m) y estudio de trabajo mecánico (J).

- Peso específico (gr/cm³):

$$Pe = \frac{f}{V} = \frac{m \cdot g}{V} = \rho \cdot g \quad (12)$$

Reemplazando en la Ecuación 16 el peso específico da como resultado 1062.75 N/m³

Resistencia eléctrica (Ω):

Resistencia de un material (cobre) es de $1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

La resistencia eléctrica da como resultado $1.29 \times 10^{-4} \Omega$.

➤ Conductividad eléctrica (S/m):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m} = 59.52 \text{ M} \cdot \text{S/m}$$

➤ Trabajo mecánico (J):

$$W = F \cdot d \quad (13)$$

$$F = m \cdot \left(\frac{2d}{t^2}\right) \quad (14)$$

Donde:

d : Es el largo del dispositivo.

t : Es el tiempo que se demora en pasar el dispositivo.

m : Es el peso de cada individuo puesto a prueba.

F : Es la fuerza aplica sobre el dispositivo.

2.7 Cálculo y pruebas de los parámetros eléctricos y mecánicos.

Una vez comprobados matemáticamente los parámetros eléctricos y mecánicos, compruebe este rango de valores con sus propios cálculos; y una vez establecidos los valores, la única forma de comprobarlos en la práctica es mediante la medición.

2.6.3 Cálculo de la tensión por unidad de generación

A partir de las bases teóricas que se presentaron en el apartado 2.5, se desarrollaron los cálculos correspondientes a la tensión generada por cada baldosa a partir de la fuerza aplicada a éste y a partir de las características propias de los dispositivos piezoeléctricos en uso. El cálculo de la tensión generada, dada de la siguiente expresión Ecuación 4, a partir de ésta se hace el cálculo de la tensión.

$$V = - \left(g_{33} * h * \left(\frac{f}{d^2 * \frac{\pi}{4}} \right) \right)$$

Asignando los valores de la Tabla 1 a cada una de las variables de la ecuación 6.

TABLA 1

DATOS DEL MATERIAL PIEZOELÉCTRICO

Variable	Valor
Constante piezoeléctrica	25x10 ⁻³ Vm/N
Grosor del piezoeléctrico	0.2 mm
Fuerza aplicada al cerámico	735.75N
Diámetro efectivo del piezoeléctrico	35mm

Nota. Datos del material piezoeléctrico utilizado en el diseño de la cerámica piezoeléctrica

Todos estos datos son mencionados en la sección 2.5. Sustituyendo estos valores, damos forma a la Ecuación 4 y obtenemos la tensión generada en el disco piezoeléctrico de 6.69 V:

2.6.4 Ensayos eléctricos en el elemento piezoeléctrico

Debería mencionarse; en cuanto a determinar la instalación final de primero y luego de teja; Se han realizado dos pruebas eléctricas básicas independientes en una muestra de elementos piezoeléctricos. Se realizan ensayos a cada elemento con el fin de evaluar y verificar las características eléctricas que teóricamente debería tener. Las pruebas para realizar en los elementos piezoeléctricos se enumeran a continuación:

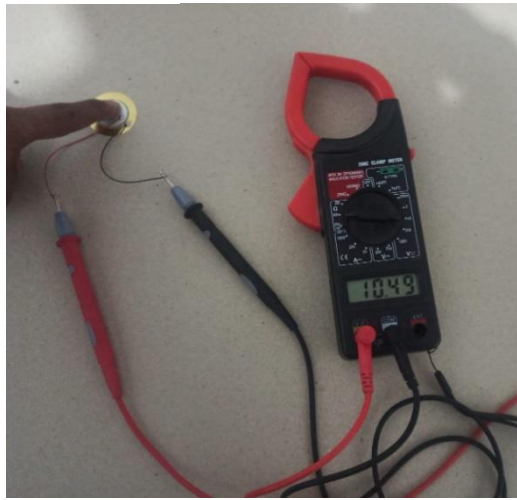
- Tensión generada por impulso directo.
- Corriente generada por impulso directo.

2.7.2.1 Tensión generada por impulso directo

El valor de tensión generada, presentada por cada elemento piezoeléctrico oscila entre los 4.24 y 12.11 volt. La tensión real en cada disco se obtuvo conectando un multímetro digital en las terminales cerámica y metálica propia de dicho disco; y a su vez, ejerciendo sobre él una fuerza mecánica capaz de deformarlo. La Figura 11 muestra la tensión generada por un disco piezoeléctrico al ser deformado con la mano.

Figura 11

Medición de tensión en un disco piezoeléctrico



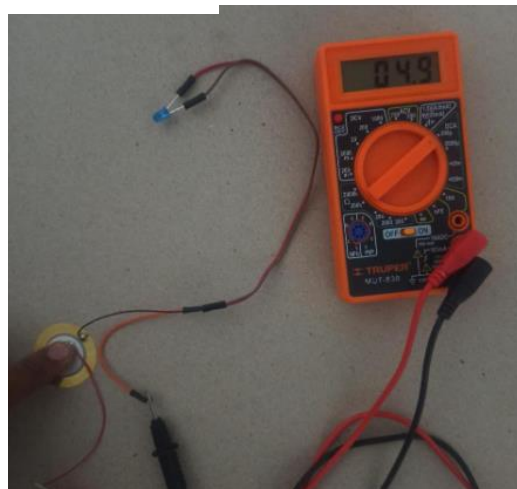
El valor obtenido de voltaje es variable de acuerdo con la fuerza y el tiempo aplicado sobre el disco piezoeléctrico.

2.7.2.2 Corriente generada por Impulso directo

La corriente generada por cada uno de los discos debido al impulso mecánico directo equivale a $4.9 \mu\text{A}$. Véase Figura 12.

Figura 12

Medición de corriente en un disco piezoeléctrico



Recabando las propiedades teóricas que éstos poseen, y haciendo una sustitución de estas en las variables de la ecuación, tenemos que idealmente los elementos piezoeléctricos, aplicándoles un peso aproximado de 75Kg, deben ser capaces de presentar en sus terminales una diferencia de potencial de aproximadamente 6.69 V. Este resultado difiere completamente al obtenido de manera experimental; cuando se somete a los piezoeléctricos a ese nivel de deformación, obtenemos una lectura máxima de entre 4.24 y 12.11 V.

Esto indica que existe una serie de factores que pueden alterar o disminuir el rendimiento de estos elementos. Como, por ejemplo: un error en la aplicación de la fuerza de deformación, una sobreprotección mecánica, un error de medición, defectos de fábrica etc.

2.8 Diseño de la cerámica Piezoeléctrica

El diseño de esta cerámica piezoeléctrica es la unión de diferentes componentes como los discos cerámicos, el sistema eléctrico de carga y almacenamiento y la estructura que contendrá todo esto.

2.7.1 Softwares utilizados

Con el fin de lograr un diseño representativo del prototipo de baldosa piezoeléctrica se usó diferentes software para lograr un desarrollo y explicación del modelado a detalle, algunos de los simuladores y software para ingeniería cuentan con licencias y otros con una versión estudiantil gratuita con todas las funciones necesarias para realizar un modelado representativo gráfico y las herramientas necesarias para lograr un diseño de un prototipo sólido a continuación se detallan los software utilizados.

2.8.1.1 Proteus 8 Professional

Proteus Professional es un entorno integrado para desarrollar y modelar proyectos electrónicos para ayudar a limpiar y construir circuitos a través de la interfaz gráfica, por lo tanto, uno de los programas más violados al usar uno. El número de bibliotecas con todos los nuevos electrónicos y módulos en caso de que no se puedan encontrar en El caso de sus grandes librerías. Este software lo ayudará a construir y modelar la cadena de carga, que se conectará a los ladrillos de voltaje prototipo, ayudando y medir los valores y los valores de corriente se crearán a partir del modelo eléctrico de los dispositivos. El voltaje, TI, TI, TI También se utilizará para el conocimiento de diferentes formas de ondas creadas por cada carga de diagrama de fase.

2.8.1.2 AutoCAD

AutoCAD es un programa de diseño asistido por computadora (DAC) para dibujos en 2D y 3D. Actualmente está siendo desarrollado y vendido por Autodesk. AutoCAD maneja una base de datos de objetos geométricos (puntos, líneas, arcos, etc.) editores de dibujos. La interacción con el usuario se realiza a través de comandos, editando o dibujando desde la línea de comandos, que es básicamente el foco del programa. Las versiones modernas del programa le permiten ingresarlas a través de una interfaz gráfica de usuario o con una GUI en inglés, lo que automatiza el proceso.(Ordoñez, Jumbo, & Stalin, 2022).

2.8.1.3 Arduino IDE

Arduino IDE es una aplicación multiplataforma (Windows, MacOS, Linux) para desarrollar aplicaciones en C y C++. Le permite escribir, depurar, editar y documentar cualquier programa (llamado "boceto") de una manera extremadamente simple. El código escrito por el usuario requiere solo dos funciones básicas de configuración de vacío para la configuración de periféricos, interrupciones, etc., y el programa de ejecución de bucle de vacío. En el entorno Arduino IDE, cada instrucción y método de uso está muy detallado, y es posible agregar una gran cantidad de bibliotecas a cada sensor desarrollado por el fabricante; no necesita personalizar el controlador u otro software en esta plataforma (Arduino, 2022).

2.8.2 Diseño de la estructura de la cerámica piezoeléctrica.

En esta sección se va a detallar las diferentes partes que conformar esta estructura de acuerdo con el material que se ha seleccionado que cumplen las especificaciones técnicas para que la estructura sea cien por ciento funcional.

2.8.2.1 Diseño de la Base

La base de las baldosas, por requerimientos propios del proyecto, debe ser algún material que ostente una alta resistencia mecánica, ya que por cómo se presentan las baldosas; éstas, estarán expuestas a una gran cantidad de deformaciones mecánicas.

Las baldosas tienen como base un panel de Triplex Marino; se trata de un tablero elaborado por madera tropical y sus caras y contracaras de espesor de 8, 10mm, que reducen la absorción de humedad en el interior del tablero(Edimca, 2022).

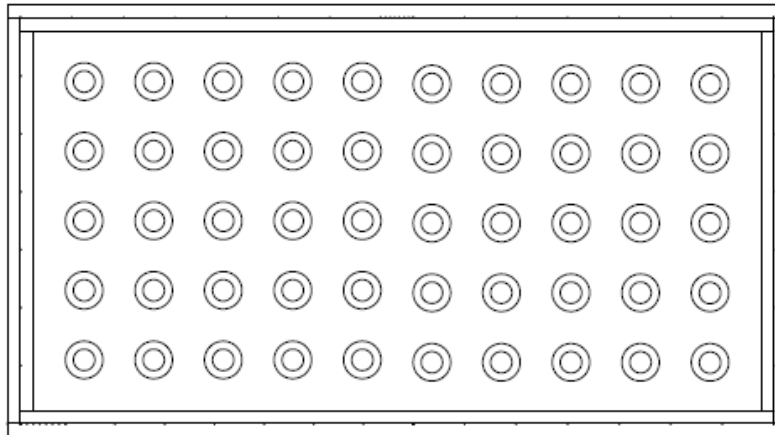
La placa Triplex Marino seleccionada tiene unas dimensiones de 40 cm x 73 cm por cada lado y un espesor de 12mm. Figura 13.

Sobre la base, se deben trazar las posiciones pertinentes para guiar la futura colocación de los asentamientos particulares de cada uno de los discos piezoeléctricos.

El trazado guía es una cuadrícula que presenta las siguientes dimensiones: a) 3cm de margen con respecto a los bordes de la placa b) 3.5cm para los asentamientos particulares, y c) 3cm entre el trazado de cada espacio para asentamiento. Véase Figura 13.

Figura 13

Placa fibra con el trazado de las guías para asentamiento



2.8.2.2 Asentamientos para los discos piezoeléctricos

El elemento que se describe aquí como el asentamiento, es el material que se emplea como un amortiguador para el disco piezoeléctrico.

El disco piezoeléctrico, debido a pruebas de resistencia mecánica, no puede quedar directamente adherido a la superficie lisa y rígida. Como se muestra en la Figura 14, para evitar la fractura en el material antes mencionada, se antecede dos planchas de Ecoliso de dimensiones: 49.6cm de largo x 49.6cm de ancho y de espesor de 1cm, es decir, entre las superficies de la placa y el elemento piezoeléctrico se intercala una plancha de Ecoliso. Ésta plancha brinda el soporte necesario para evitar el contacto directo del disco con el panel y por lo tanto la fractura del material.(ECOCAUCHO, 2022)

Figura 14

Baldosas de Ecoliso

Baldosa de
Ecoliso



Nota. Adaptado de *Ecopisos*, Por Industria Recicladora De Caucho, 2022, Ecocaucho S.A, Cc By Sa

Esta baldosa de Ecoliso es muy resistente y de igual forma de buena visualización y calidad al ser aplicada a una fuerza compresiva.

2.8.2.3 Adhesión de los elementos

La adhesión de los discos a la placa y la adhesión de la placa a la base de Triplex Marino concretó empleando a los “súper-pegamentos” (Cianoacrilato de metilo). El cianoacrilato de metilo es una resina que polimeriza en presencia de agua formando largas y fuertes cadenas, que unen las superficies unidas entre sí, por lo que no necesita ni presión ni calor para adherir dos o más objetos entre sí (León Carreño, 2021).

2.8.2.4 Interconexión de los elementos piezoeléctricos.

En este caso, la conexión de los elementos piezoeléctricos es uno de los principales factores que provocan la avería y el fallo del propio elemento piezoeléctrico. La carga mecánica aplicada a los discos piezoeléctricos se vuelve significativa en términos de falla cuando se concentra en un solo punto, intersección o interconexión de elementos piezoeléctricos. Después de que se descubrió este problema, se decidió utilizar un tipo de conexión en paralelo donde cada piezoeléctrico tiene un diodo Schottky (o puente de diodos) en serie de modo que si alguno de ellos genera un voltaje negativo, no fluirá corriente por el diodo evitando así la sustracción de voltaje como en la conexión en serie.

El problema con este tipo de configuración es que, dado que hay un diodo Schottky en cada sistema, el circuito solo pasará corriente al piezoeléctrico con la polaridad más alta en un momento dado, es decir, solo 1 piezoeléctrico en un momento dado. creará una carga que irá a la batería. La interconexión de los elementos se realiza en paralelo. Cada baldosa costa de un total de 50 elementos piezoeléctricos distribuidos en hileras de 10 por 5 elementos

dispuestos aleatoriamente. Los elementos de cada hilera se conectan en paralelo; dejando las terminales de salida libres, dispuestas para una conexión más como se observa en la Figura 15.

Figura 15

Interconexión de los elementos se realiza en paralelo



Como se puede observar la conexión de los discos piezoeléctricos ya ensamblados en el dispositivo para posteriormente ser puesto en funcionamiento.

2.8.2.5 Protección mecánica de la baldosa

La protección mecánica entre las superficies del disco contra las cargas mecánicas que provocan fallas se denomina soporte entre la superficie superior del panel y la superficie inferior del disco piezoeléctrico. Protección completa, es decir, protección completa del elemento piezoeléctrico; aislado del impacto destructivo de las fuerzas mecánicas, cubierto por toda la superficie y unido con adhesivo termofusible. silicio.

Se selecciona la silicona debido a que ésta posee una resistencia a la tracción de 70 Kg/cm².

La baldosa de ecoliso de Ecocaucho se sobrepondrá como cama superior para que ayude a resistir los impactos a los que serán sometidos cada uno de los sub-generadores.

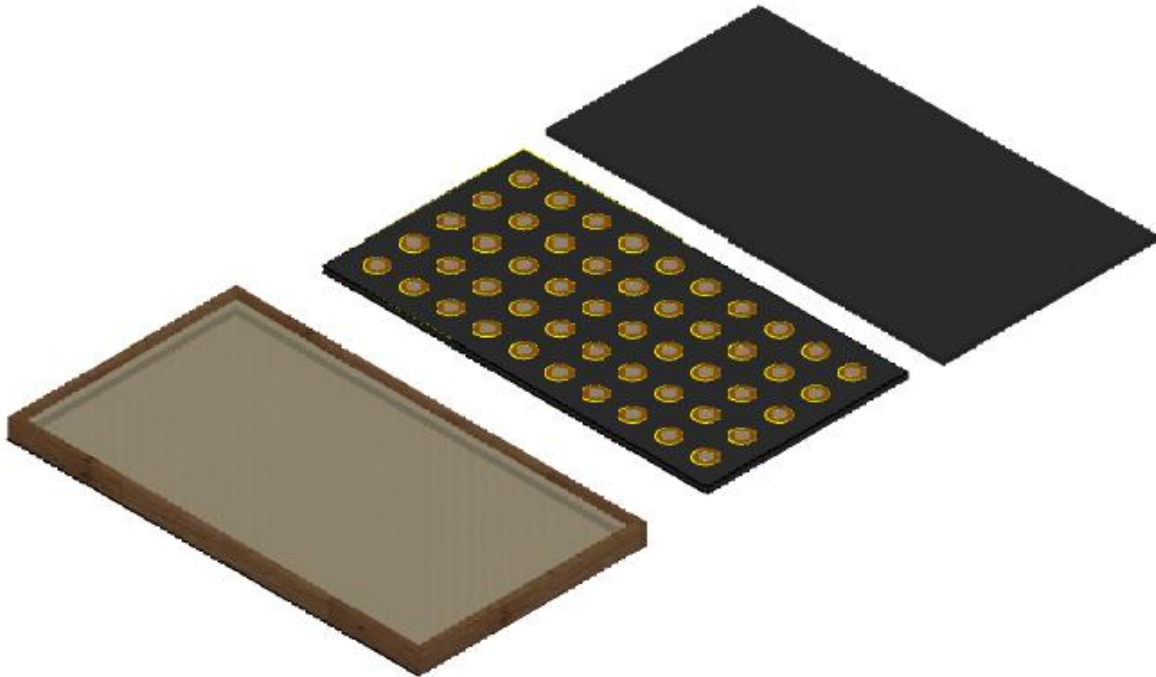
2.9 Diseño en 3D de las partes que forman la baldosa

Se diseña la estructura de la base donde va a estar instalada la baldosa piezoeléctrica la cual está formada por los asentamientos donde están los 50 discos y su respectivo sistema

de transmisión y almacenamiento que se observa en el centro, del lado derecho es la cubierta para proteger a los diferentes grupos de discos PZT como se observa en la Figura 16.

Figura 16

Modelado 3D del prototipo de la baldosa Piezoeléctrica



Este modelado en 3D nos muestra una vista de cómo esta estructura la baldosa. La primera imagen es la disposición física de los discos sobre la plancha de Ecoliso de Eco caucho, la segunda imagen es la estructura donde va la plancha de Ecoliso la cual está fabricada en Tríplex Marino de 12mm, la última imagen es la capa superior que es la que protege a los discos de fracturas al ser sometidas a presión del tránsito peatonal.

2.10 Diseño de los sistemas electrónicos para transmitir y almacenar la energía eléctrica generada por los piezoeléctricos

Este apartado lleva este nombre, debido a que se debe hacer uso de la electrónica para llevar al 100% de su operación total a las baldosas piezoeléctricas.

Como se ha señalado, la mayor fortaleza de la placa piezoeléctrica es su autogeneración de voltaje, es decir, es un elemento que genera voltajes relativamente grandes pero corrientes muy pequeñas. La desventaja que presenta está relacionada con la generación actual obligada a utilizar dispositivos electrónicos. Cabe señalar que para el funcionamiento de cualquier equipo eléctrico no es suficiente solo el nivel de voltaje requerido,

también se debe tener en cuenta la corriente que requiere. Los paneles piezoeléctricos son capaces de proporcionar niveles de voltaje, pero no son capaces de manejar niveles de corriente. Esta omisión nos obliga a utilizar factores que nos ayuden a potenciar la debilidad señalada.

2.7.2 Dispositivos electrónicos utilizados

Los materiales electrónicos empleados en la elaboración del circuito electrónico como sus respectivos datos y características se muestran en la Tabla 2. Es de suma importancia conocer el funcionamiento de cada elemento empleado para comprender la función que tendrán dentro del circuito electrónico.

Los cálculos utilizados para el dimensionamiento de las resistencias del circuito son los siguientes:

Para los valores que se tienen en los estándares del proyecto; contamos con una tensión de 12 volt, la carga indicada por las tiras leds es de 12 watt alimentadas a 9 volt y $\beta = 30$.

Para el cálculo de la corriente del colector; partiremos de la Ecuación 5.

$$P = (V)(I)$$

Despejando la corriente queda la Ecuación 15 indicando que será la corriente del colector la que se calculará.

$$I = I_c = \frac{P}{V} \quad (15)$$

Sustituyendo los valores, se obtiene una corriente de 1A.

Ahora usaremos el parámetro β (beta); el más bajo para asegurar la saturación del transistor. Usaremos la Ecuación 16 para calcular la corriente en la base del transistor de 0.33 A.

$$I_b = \frac{I_c}{\beta} \quad (16)$$

Esta entonces, I_b , es la corriente necesaria para que el transistor se sature y se active permitiendo la carga. Ahora bien, para el cálculo del R_b , se realiza un mallado en el circuito de la base; siendo éste:

$$12V = R_b * I_b - V_{bc} \quad (17)$$



Despejando R_b de la Ecuación 17 y sustituyendo valores obtenemos el valor de la resistencia en la base de 90.909Ω .

El resistor colocado en el colector; no tiene otro fin que limitar el paso de corriente al circuito.

TABLA 2

LISTA DE MATERIALES ELECTRONICOS EMPLEADOS EN EL CIRCUITO ELECTRONICO PARA LA TRANSMISIÓN Y ALMACENAMIENTO

Dispositivo	Imagen	Datos
MATERIAL PIEZOELÉCTRICO		Medidas:35 mm
		Tensión min:3 V
		Tensión max:20 V
PUENTE DE DIODOS 2W10		Modelo: 2W10 Voltaje de pico inverso (Max): 1000 Volts
		Máxima corriente promedio: 2 A Tensión emisor-base= 5V
CAPACITOR		Capacitancia:220 µF
		Tensión: 16 V
		Corriente:50 µA

<p>DIODO 1N4007</p>		<p>VR: 1000V IR: 50nA Imax: 1A VF: 0.7 - 1V</p>
<p>RESISTENCIA</p>		<p>$R = 220 \Omega$ $P = \frac{1}{4} w$</p>
<p>BATERÍA SECA</p>		<p>Voltaje de carga: 12V Capacidad: 1.2AH</p>

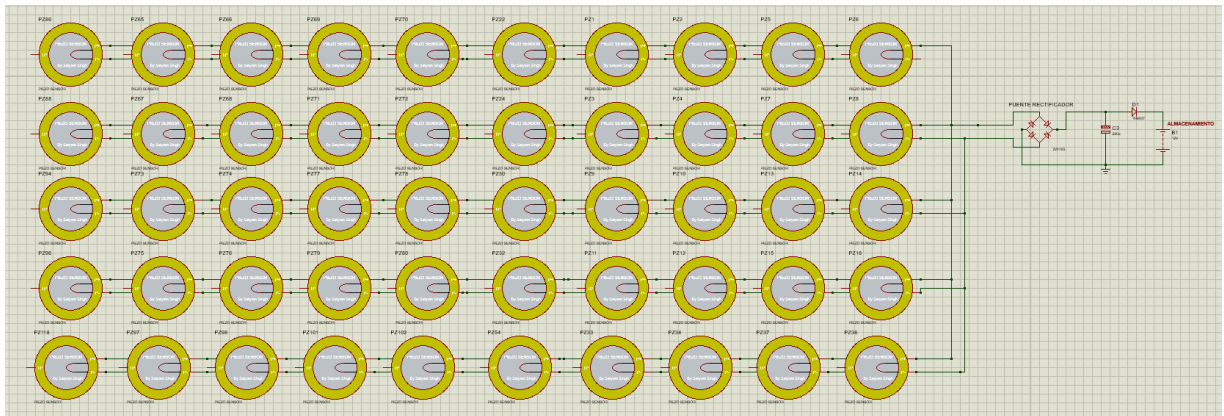
En la Tabla 2 se detallan los materiales que se va a utilizar para el diseño y la construcción del circuito electrónico de transmisión y almacenamiento del voltaje generado por los diferentes grupos de discos cerámicos piezoeléctricos.

2.7.3 Conexión del circuito

En la Figura 17, se muestra el circuito electrónico para rectificar y almacenar la energía obtenida de la baldosa piezoeléctrica.

Figura 17

Circuito electrónico completo para transmitir y almacenar y la conexión en paralelo de los discos PZT

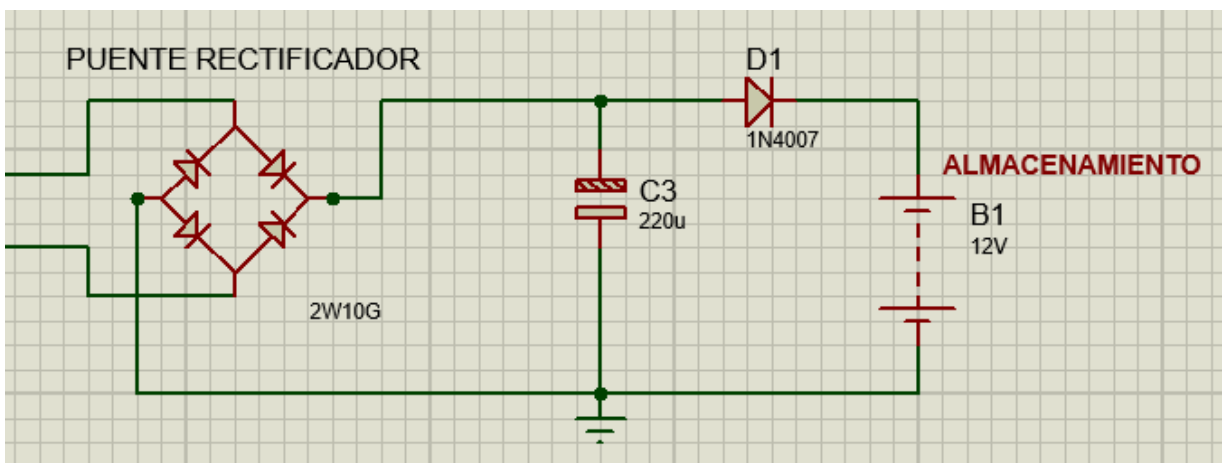


En la Figura 17, se realizó el diseño del circuito electrónico de rectificación y almacenamiento de forma completa con los 50 discos piezoeléctricos conectados en paralelo en grupos de ocho discos, se dividió en dos circuitos de 25 discos cada uno los cuales tienen un circuito por separado. Para el sistema de almacenamiento se conectan los dos sistemas antes mencionados a una sola batería recargable de 12 V.

En la Figura 18, se muestra el circuito electrónico en forma ampliada para poder visualizar claramente las conexiones de los diferentes elementos utilizados en este sistema de rectificación, filtrado y almacenamiento de energía

Figura 18

Circuito electrónico para transmitir y almacenar el voltaje



En esta Figura se observa el diseño del circuito de rectificación el cual consta por un puente rectificador a la salida del circuito en paralelo de los discos para convertir el voltaje alterno a voltaje continuo a la salida del puente se conecta un capacitor electrolítico de 220 uF 16V para disminuir el rizado y estabilizar la tensión de salida también se colocó un diodo Zener 1N4007 para que la carga de la batería no regrese al circuito y la corriente solamente fluya en una sola dirección y alimente a la batería. se deja dos puntos de conexión para la conexión a la batería de 12V.

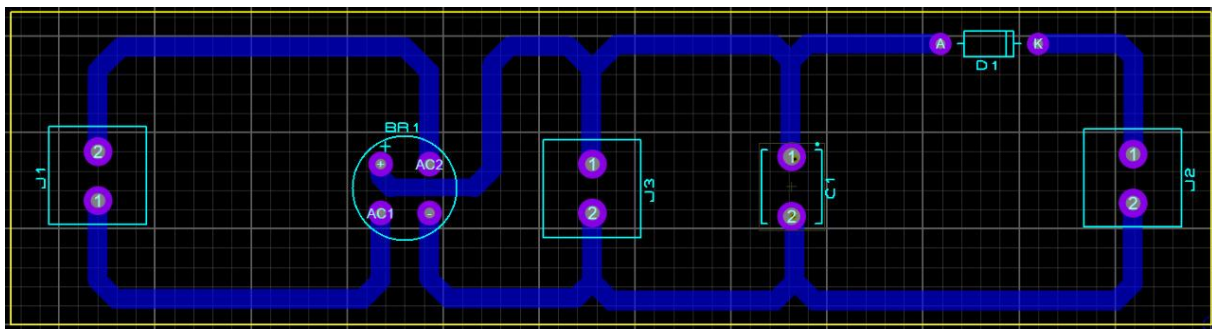
Todas las conexiones se realizaron de acuerdo con la información obtenida de las hojas de datos de cada dispositivo electrónico empleado.

Debido a que el diseño del circuito se realizó en Proteus 8 Professional, el ruteado del circuito electrónico se lo hizo empleando la herramienta PCB layout del mismo software.

En la Figura 19, se muestra el ruteado del circuito.

Figura 19

PCB del Sistema de rectificación, filtrado y almacenamiento de energía

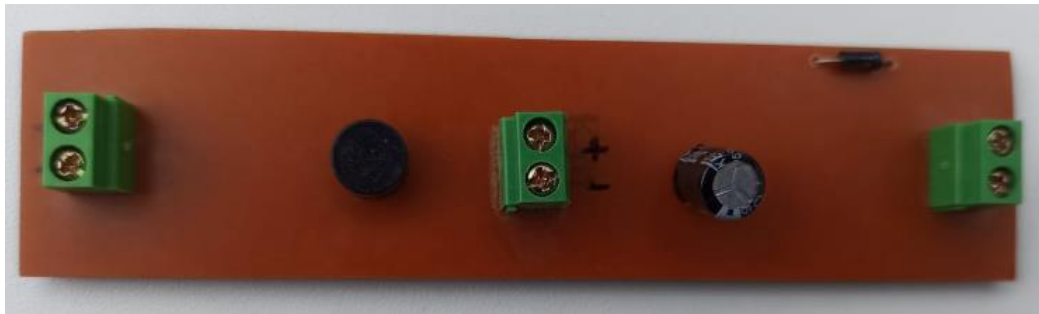


Una vez obtenido el PCB se procede a transferir por medio de una CNC este circuito impreso a una placa de baquelita. Para terminar con la preparación de la placa se realiza las perforaciones empleando una broca de 1mm.

Montaje de los Dispositivos del Sistema de rectificación, adquisición, filtrado y almacenamiento considerando que los dispositivos que integran la parte electrónica se acoplan en una caja de Tríplex con certificación de respaldo INEN 900 de dimensiones 200x150 mm, la distribución de espacio para los componentes se lo hizo de cómo se indica en la Figura 20.

Figura 20

Montaje de los Dispositivos del Sistema de rectificación, adquisición, filtrado y almacenamiento



Se puede observar en la parte izquierda la bornera de entrada de voltaje producida por la cerámica piezoeléctrica, luego pasa por el puente de diodos hasta llegar a la segunda bornera que es donde se obtiene la señal para los datos obtenidos, se filtra esta señal y se rectifica y pasa a la tercera bornera que es la que alimenta a la batería.

CAPÍTULO 3

Implementación y pruebas de funcionamiento

Este capítulo se explica la implementación del prototipo de cerámica piezoeléctrica con los componentes seleccionados en el segundo capítulo, también se realiza la adquisición de los datos obtenidos en el funcionamiento del dispositivo, para lo cual se utiliza el software Arduino IDE, se presenta las pruebas experimentales y algunos ajustes necesarios para observar los resultados, desempeño de los discos piezoeléctricos lo que permitirá llegar a la correcta funcionalidad.

3.1 Conteo del tránsito peatonal

Dado que las clases de la Carrera de Electricidad son realizadas de lunes a viernes en jornadas diarias que inicia desde las 14:00 a.m., hasta las 21:00 p.m., con una duración de 120 minutos aproximadamente por clase, y donde los estudiantes bien sea al iniciar o finalizar la clase ingresan o salen de la Carrera porque están llegando o están saliendo de su jornada o requieren adquirir algún elemento o comida del comercio exterior, se considera realizar el conteo en intervalos de hora, registrando el flujo peatonal durante las 7 horas diarias, y durante la semana comprendida entre el martes 19 al viernes 22 de julio del 2022.

Por consiguiente, el conteo de estudiantes, docentes y visitantes se realiza en la portería de entrada y salida peatonal como se observa en la Figura 21, ubicada en la Carrera de Electricidad.

Figura 21

Portería entrada y salida peatonal de la Carrera de Electricidad



Realizando la observación de los datos obtenidos por cada pisada en la cerámica piezoeléctrica instalada en la portería de salida y entrada peatonal, se cuantifica la cantidad de estudiantes, docentes y visitantes que pasaron por esta portería en fracciones de hora, tal como se describe en la Tabla 3.

TABLA 3

TRÁNSITO DE ESTUDIANTE, DOCENTES Y VISITANTES EN PORTERÍA DE ENTRADA Y SALIDA PEATONAL

Fracción horaria de conteo	Mes de julio de 2022			
	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
	19	20	21	22
Antes de 14:00 pm	65	54	47	82
14:00 am – 15:00 pm	95	125	99	56
15:00 am – 16:00 pm	70	93	136	109
16:00 am – 17:00 pm	105	118	208	187
17:00 am – 18:00 pm	115	83	130	183
18:00 am – 19:00 pm	87	97	95	87
19:00 am – 20:00 pm	123	107	60	45
20:00 am – 21:00 pm	90	80	55	15
Total, de salidas peatonales día.	750	757	830	764

3.1.1 Análisis del tránsito peatonal

El tráfico de peatones en la entrada y salida permite el análisis estadístico al observar la cantidad de estudiantes, profesores y visitantes que pasan por el portón por hora, considerando que son los estudiantes, maestros y visitantes quienes pasan por el portón. . una puerta peatonal que contiene cerámica piezoeléctrica.

No obstante, los totales de conteo en la hora presentan variaciones en las salidas de los peatones respecto a las mismas horas de los días, como se muestra en la Tabla 3, por tal razón, se decide calcular la media de la misma hora, para los días, martes, miércoles, jueves, y viernes, aplicando las ecuaciones (18) y (19) como el mejor estimado de medida ver totales tránsito peatonal día respecto Media Flujo Peatonal día en la Figura 22.

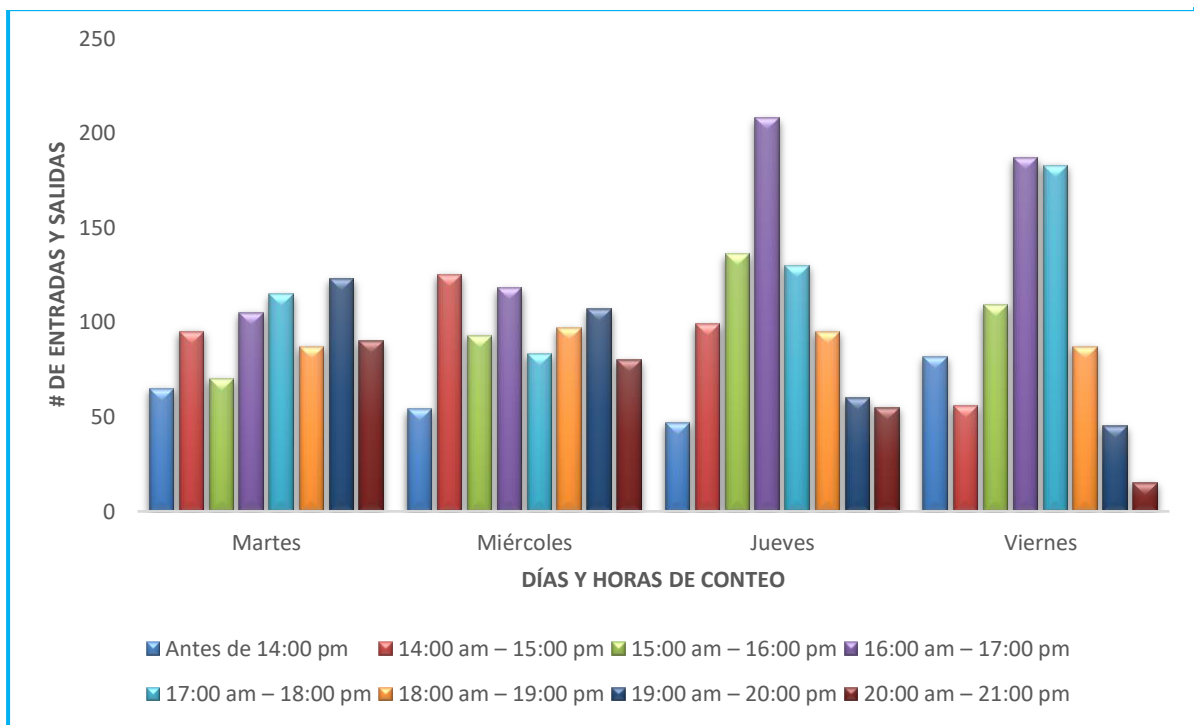
$$\text{Total entradas y salidas misma hora} = \sum \text{Entradas y salidas en la misma hora} \quad (18)$$

$$\text{Media flujo peatonal hora} = \frac{\text{Total entradas y salidas misma hora}}{\text{Número de días de medida}} \quad (19)$$

Como se observa en la Figura 23, se detalla el tránsito peatonal por hora y por día en la portería de la Carrera de Electricidad, constatando la variación de peatones en los diferentes días. Los jueves tuvieron una variación por los días finales de presentación de trabajos por lo cual hubo un mayor tránsito de estudiantes.

Figura 22

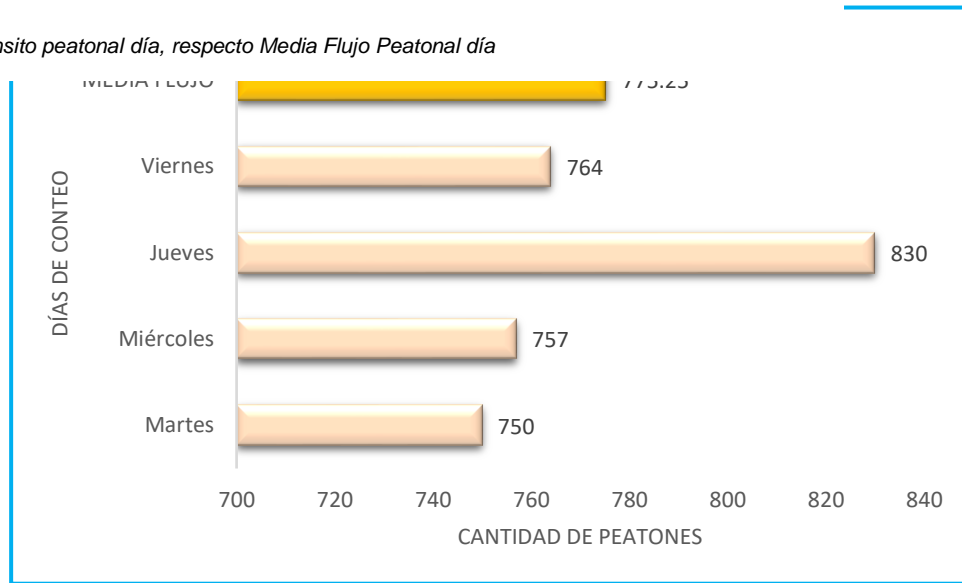
Tránsito peatonal en portería de la Carrera de Electricidad



Como se puede visualizar los cuatro días que se puso a prueba el dispositivo notando diferencias en el conteo de individuos que pisaron la baldosa en los picos altos son las horas de entrada o salida de los estudiantes de clases o cambio de hora de clase.

Figura 23

Totales Tránsito peatonal día, respecto Media Flujo Peatonal día



Si bien, los totales de las entradas y salidas peatonales medidas en el día como se observa en la Figura 23 , son el resultado obtenido del conteo, la generación de energía no viene del número de los peatones cuantificados que transitan por las porterías, sino del número de pasos que estos puedan dar al caminar sobre la baldosa piezoeléctrica, y lo que dependerá del área abarcada por el arreglo de baldosas piezoeléctricas, dado que en un mayor arreglo de baldosas piezoeléctricas se capturara un mayor número de pasos del peatón o las aplicaciones de fuerza que se realicen sobre las baldosas.

Por ello, el potencial de generación se analizará en un modelo estadístico de tráfico peatonal medio horario, que permitirá su extrapolación a un periodo anual a partir del cual se podrá realizar el análisis técnico de generación de potencia. por dispositivos piezoeléctricos.

3.1.2 Modelo estadístico de flujo peatonal

Con la media del flujo peatonal hora obtenida, se proyecta el flujo peatonal de estudiantes, docentes y visitantes que transitaran por la portería de la Carrera de Electricidad al día, mes y año, aplicando las ecuaciones (20), (21) y (22), considerando 7 horas de clase al día, 20 días de clases al mes y alrededor de 200 días de clases al año, para cada hora de medida los resultados arrojados se muestran en la Tabla 4.

$$\text{Flujo peatonal día} = \Sigma \text{Media Flujo peatonal hora} \quad (20)$$

$$\text{Flujo peatonal mes} = \text{Media Flujo peatonal día} \times 20 \text{ días} \quad (21)$$

$$\text{Flujo peatonal año} = \text{Flujo peatonal mes} \times 200 \text{ días} \quad (22)$$

TABLA 4

ESTADÍSTICO DE FLUJO PEATONAL

Fracción horaria de conteo	Entrada y salida	Media flujo	Flujo Peatonal	
	peatonal semanal	peatonal hora	Mes	Año
Antes de 14:00 pm	248	62	1240	12400
14:00 am – 15:00 pm	375	93.75	1875	18750
15:00 am – 16:00 pm	408	102	2040	20400
16:00 am – 17:00 pm	618	154.5	3090	30900
17:00 am – 18:00 pm	511	127.75	2555	25550
18:00 am – 19:00 pm	366	91.5	1830	18300
19:00 am – 20:00 pm	335	83.75	1675	16750
20:00 am – 21:00 pm	240	60	1200	12000
T Entrada y Salida peatonal				
O semanal	3101			
T Flujo peatonal día		775.25		
A Flujo peatonal mes			15505	
L Flujo peatonal año				155050

3.2 Obtención de Datos

Con la obtención de datos que se obtuvo gracias al programa realizado en la IDE de Arduino se determinó el número de personas que ingresan y salen de la Carrera de Electricidad los 4 días de prueba. A continuación, se muestra solo las gráficas de los días ya que los datos obtenidos son muy extensos para mostrarlos en una tabla.

A continuación, en la Figura 24, Figura 25, Figura 26 y Figura 27, se observa los pulsos de voltaje generados por el peso aplicado de los estudiantes en el transcurso del tiempo.

Figura 24

DÍA MARTES

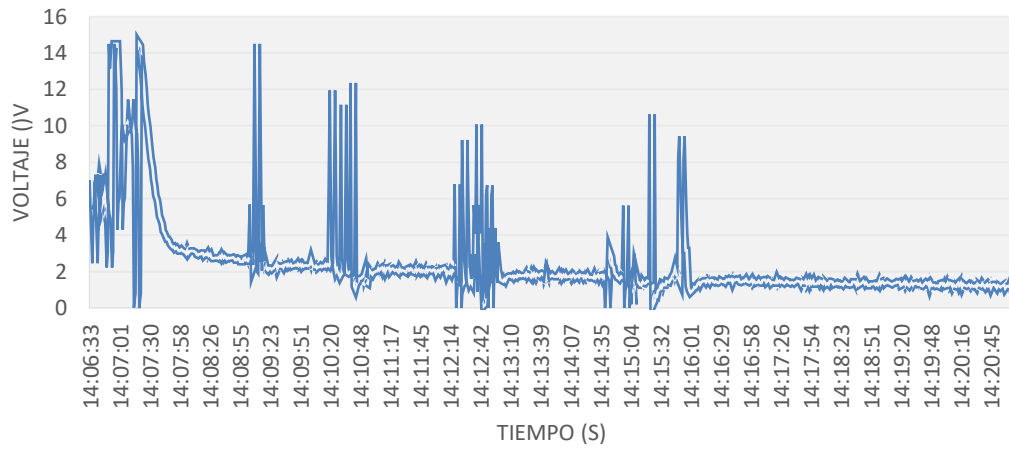


Figura 26

Datos del voltaje contra el tiempo de medición jueves

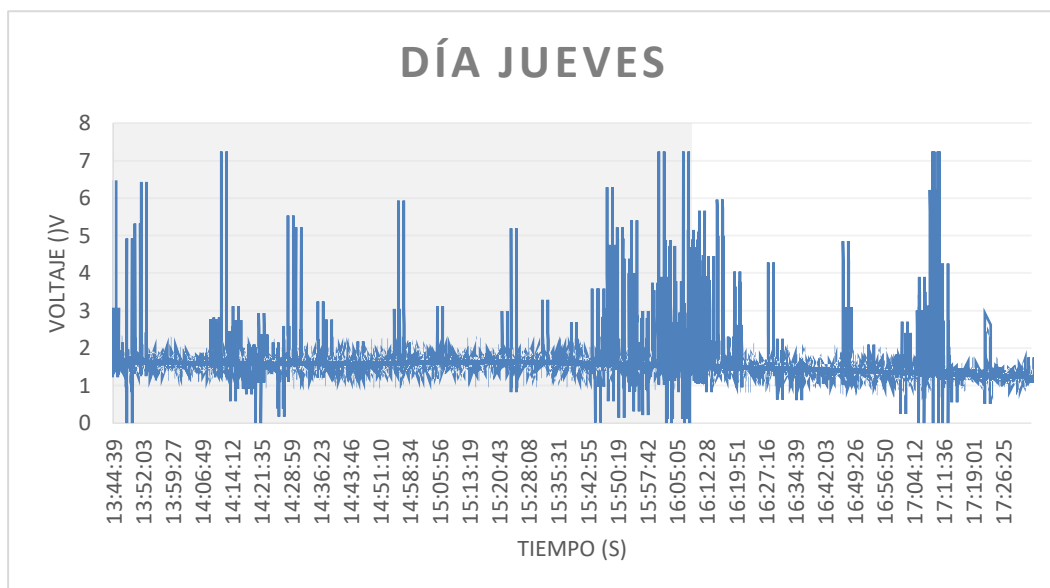
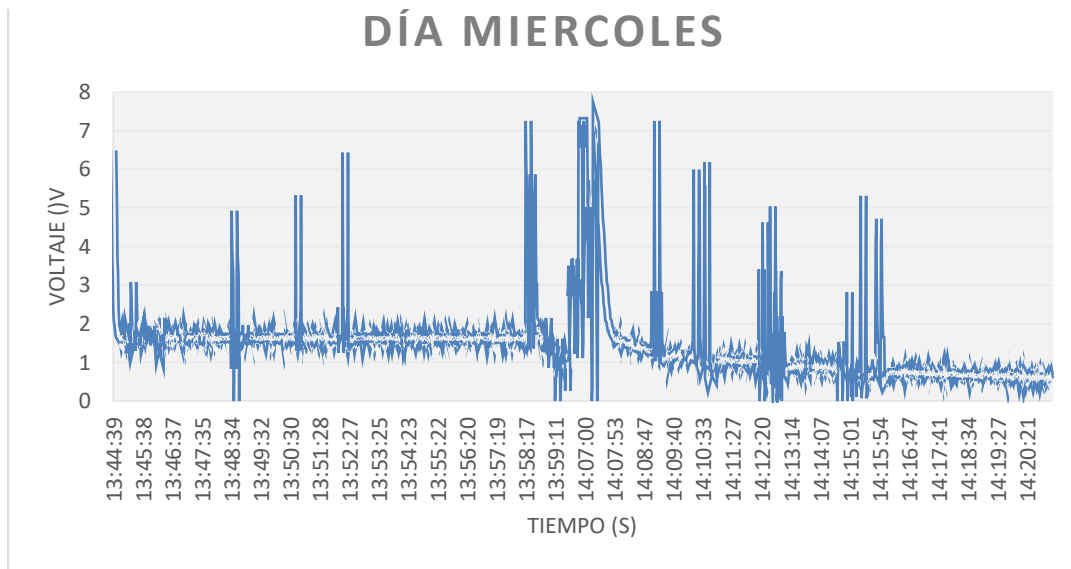
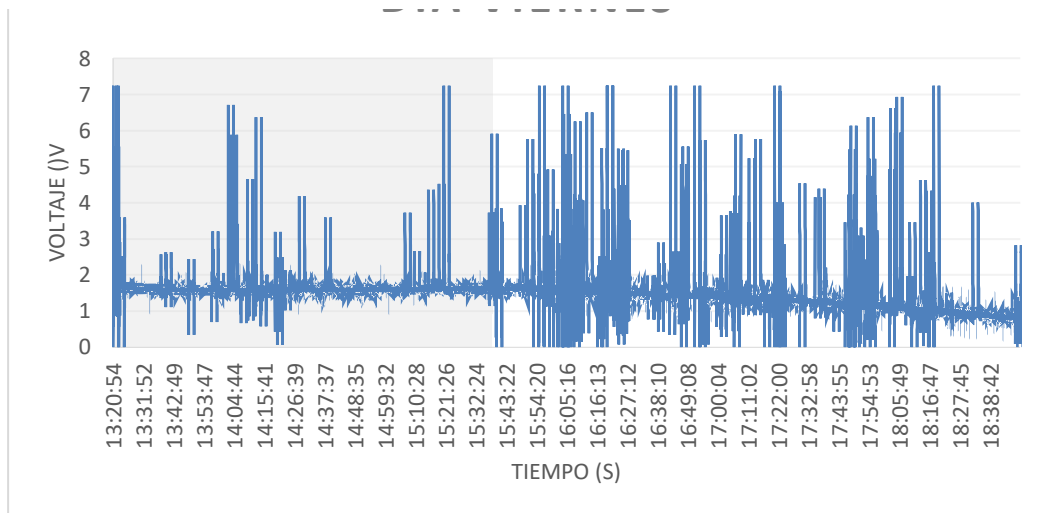


Figura 27

Datos del voltaje contra el tiempo de medición viernes



En el martes y miércoles se hizo un recorte del tiempo de adquisición de datos para observar el mayor tránsito de estudiantes que es a la hora de entrada a clases.

Los jueves y viernes se hizo la adquisición de datos en todo el periodo de clases dándose a notar los pulsos de voltaje que generan las pisadas de los estudiantes.

Con la obtención de datos que se obtuvo gracias al programa realizado en la IDE de Arduino se determinó el número de personas que ingresan y salen de la Carrera de Electricidad con lo cual se optó por hacer un promedio de la masa de los estudiantes hombres y mujeres, se tomó la medición de 3 personas como se observa en la Tabla 5, esto ayudando a responder el siguiente cuestionario el cual verifíco su masa, talla, su edad. Con el fin de poder obtener dicha información de ellos, y así aprovechar la energía mecánica que generan al momento de caminar y luego convertirlo en energía eléctrica usando el diseño piezoeléctrico.

TABLA 5

DATOS ESPECÍFICOS DE LOS INDIVIDUOS

Datos específicos	Individuo 1	Individuo 2	Individuo 3
Masa (kg)	82.7	78.4	67.4
Talla (m)	1.72	1.7	1.67
Edad (años)	24	23	24

3.2.1 Parámetros físicos de la cerámica piezoeléctrica

En la Tabla 6 se puede observar los datos utilizados para el cálculo de la fuerza y por último del trabajo mecánico producido por el peso de cada individuo de prueba.

TABLA 6*DATOS ESPECÍFICOS DE LOS INDIVIDUOS PARA EL CÁLCULO DEL TRABAJO MECÁNICO*

Datos específicos	Individuo 1	Individuo 2	Individuo 3
Masa (kg)	82.7	78.4	67.4
t (s)	1.3	1.21	1.14
d (m)	0.5	0.5	0.5
F (N)	48.93	53.55	51.86
W (J)	24.47	26.78	25.93

También se evaluó el análisis de las características del diseño mecánico por medio de la baldosa piezoeléctrica, para obtener la transducción (W), rectificación (Watts), acondicionamiento (V) y su almacenamiento (V).

Transducción (W): En esta etapa se dio por el efecto piezoeléctrico, ya que su componente principal es la fuente mecánica (pisadas de las personas), y de esta manera generar energía eléctrica renovable.

Rectificación (Watts): Una vez que se generó energía eléctrica esta tuvo que convertirse de energía alterna que proporciona la etapa de transducción en energía continua.

Acondicionamiento (V): Luego de haber transformado la energía alterna a energía continua con la ayuda de un diodo rectificador, la etapa de acondicionamiento nos dio un voltaje constante permitiendo una señal óptima.

Almacenamiento (V): Dando paso a la última etapa la cual es el almacenamiento, siendo esta la cual nos entregó un nivel de tensión, para luego poder almacenarlo en una batería de 12v.

3.2.2 Identificación de la potencia mecánica y la energía eléctrica generada

Asimismo, se procedió a tomar la obtención de los datos por medio de la identificación de la potencia mecánica y la energía eléctrica generada para su almacenamiento, para obtener de la cantidad de energía generada (kW/h) por medio de la baldosa piezoeléctrico, además se verificó su Energía mecánica (J) mediante el movimiento de la persona al desplazarse de un lugar a otro y el dispositivo para poder almacenar la energía eléctrica sería por medio de una batería (A).

3.2.2.1 Resultados de la Energía mecánica (Em):

La energía mecánica de un cuerpo es la suma de su energía cinética y su energía potencial. Con los datos antes obtenidos se va a calcular la constante elástica K con el peso del individuo de prueba más alto.

Con las ecuaciones 8, 9, 10 con sus respectivos cálculos realizados para hallar su valor individual se reemplazó en la ecuación 7 y todos estos datos utilizados y los resultados obtenidos se puede observar en la Tabla 7.

TABLA 7

DATOS ESPECÍFICOS DE LOS INDIVIDUOS PARA EL CÁLCULO DE LA ENERGÍA MECÁNICA

Datos específicos	Individuo 1	Individuo 2	Individuo 3
Masa (kg)	82.7	78.4	67.4
X (M)	0.0025	0.003	0.002
v (m/s)	0.38	0.41	0.44
g (m/s^2)	9.8	9.8	9.8
h (m)	0.018	0.018	0.018
EPE	0.00084	0.0012	0.00054
EPG	14.59	13.83	11.89
EC	5.97	6.54	6.52
Energía Mecánica (EM)	20.56	20.43	18.41

3.2.2.2 Cantidad de energía generada

Cantidad de energía generada (kWh): Todos los aparatos electrónicos requieren para funcionar una determinada cantidad de energía eléctrica, basada en su potencia y el tiempo que está funcionando. Teniendo en cuenta que nuestra baldosa tiene una salida de energía eléctrica.

$$\mathbf{kWh = Potencia \times Tiempo = Energía generada} \quad (23)$$

Tiempo:

Horas = 1h

Energía generada por 20.56 J (Energía mecánica) Primer Individuo

Con la energía mecánica antes calculada se procede a obtener el voltaje producido por el paso de los individuos de prueba para luego calcular la corriente y por consiguiente la potencia eléctrica. Al aplicar la ecuación 24 da como resultado la energía generada en una hora como se observa en la Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10.

TABLA 8

DATOS DEL PRIMER INDIVIDUO (20.56 J) PARA EL CÁLCULO DE LA ENERGÍA GENERADA

Datos específicos	Valores	Corriente(A)	Potencia(w)	Energía generada (Wh)		
				Medición 1	Medición 2	Medición 3
Voltaje 1 (v)	8.45					
Resistencia (Ω)	220	0.039	0.33	330		
Mil (K)	1000					
Voltaje 2 (v)	8.05					
Resistencia (Ω)	220	0.037	0.29		290	
Mil (K)	1000					
Voltaje 3 (v)	8.3					
Resistencia (Ω)	220	0.038	0.32			320
Mil (K)	1000					

Energía generada por 20.43 J (Energía mecánica) Segundo Individuo

TABLA 9

DATOS DEL SEGUNDO INDIVIDUO (20.43 J) PARA EL CÁLCULO DE LA ENERGÍA GENERADA

Datos específicos	Valores	Corriente(A)	Potencia(w)	Energía generada (Wh)		
				Medición 1	Medición 2	Medición 3
Voltaje 1 (v)	7.9					
Resistencia (Ω)	220	0.036	0.28	280		
Mil (K)	1000					
Voltaje 2 (v)	7.61					
Resistencia (Ω)	220	0.035	0.27		270	
Mil (K)	1000					
Voltaje 3 (v)	7.82					
Resistencia (Ω)	220	0.036	0.278			277.97

Mil (K)

1000

Energía generada por 18.41 J (Energía mecánica) Tercer Individuo

TABLA 10

DATOS DEL TERCER INDIVIDUO (18.41 J) PARA EL CÁLCULO DE LA ENERGÍA GENERADA

Datos específicos	Valores	Corriente(A)	Potencia(w)	Energía generada (Wh)		
				Medición	Medición	Medición
				1	2	3
Voltaje 1 (v)	6.94					
Resistencia (Ω)	220	0.032	0.22	220		
Mil (K)	1000					
Voltaje 2 (v)	6.71					
Resistencia (Ω)	220	0.030	0.20		200	
Mil (K)	1000					
Voltaje 3 (v)	6.61					
Resistencia (Ω)	220	0.030	0.199			198.6
Mil (K)	1000					

3.2.2.3 Almacenamiento en la batería (A)

La capacidad de la batería que almacena la energía eléctrica generada es de 12 voltios con 1.2 amperios de batería: (7Wh)

La batería fue alimentada por las siguientes energías eléctricas como se observa en la Tabla 6, con una potencia calculada por el voltaje producido por la baldosa y la corriente generada a través de una resistencia de 220Ω , generando la potencia para evaluar el tiempo de carga se tiene que 7 Wh de la batería dividida con la capacidad de carga se estima el tiempo que se demora en cargar la batería al cien por ciento.

TABLA 11

DATOS PARA EVALUAR EL TIEMPO DE CARGA DE LA BATERÍA

Energía mecánica (J)	Medición 1(w)	Medición 2(w)	Medición 3(w)	Tiempo de carga 1(7wh)	Tiempo de carga 2(7wh)	Tiempo de carga 3(7wh)
20.56	0.33	0.29	0.32	21.21	24.13	21.88
20.43	0.28	0.27	0.278	25	25.93	25.18
18.41	0.22	0.20	0.199	31.82	35	35.18

Como se puede observar en la Tabla 11 se detalla la energía mecánica de cada individuo puesto a prueba, calculando la potencia con las tres mediciones obtenidas al aplicar la fuerza ejercida por cada persona.

En la siguiente Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14 se detalla en específico la potencia generada el tiempo de carga de la batería hasta llegar a su 100% de carga.

TABLA 12

DATOS PRIMER INDIVIDUO PARA EVALUAR EL TIEMPO DE CARGA DE LA BATERÍA

Energía mecánica (J)	Mediciones (w)	Tiempo de carga (7wh)
20.56	0.33	21 horas con 12 minutos
	0.29	24 horas con 8 minutos
	0.32	21 horas con 52 minutos

TABLA 13

DATOS SEGUNDO INDIVIDUO PARA EVALUAR EL TIEMPO DE CARGA DE LA BATERÍA

Energía mecánica (J)	Mediciones (w)	Tiempo de carga (7wh)
20.43	0.28	25 horas con 0 minutos
	0.27	25 horas con 55 minutos
	0.278	25 horas con 10 minutos

TABLA 14

DATOS TERCER INDIVIDUO PARA EVALUAR EL TIEMPO DE CARGA DE LA BATERÍA

Energía mecánica (J)	Mediciones (w)	Tiempo de carga (7wh)
18.41	0.22	31 horas con 49 minutos
	0.20	35 horas con 0 minutos
	0.199	35 horas con 10 minutos

3.3 Métodos de Análisis de Datos

Los datos del proyecto fueron cuantitativos, ya que se recolecto mediante los instrumentos que han sido elaborados mediante la IDE de Arduino, donde se realizó el diseño del algoritmo para poder visualizar con cada pisada o fuerza aplicada poder generar energía eléctrica por medio de la muestra.

Para el análisis de los datos se utilizó el análisis de los parámetros mediante el programa EXCEL que se realizó una comparación por medio de la curva de calibración y gráficos de la obtención de la energía eléctrica mediante la baldosa piezoeléctrica.

3.3.1 RESULTADOS

Los resultados obtenidos, se exponen respecto al objetivo específico planteado en la investigación:

3.3.1.1 Resultados de la energía mecánica.

Se buscó determinar la energía mecánica utilizada mediante el diseño de una baldosa piezoeléctrica para generar energía eléctrica renovable, obteniéndose los siguientes resultados:

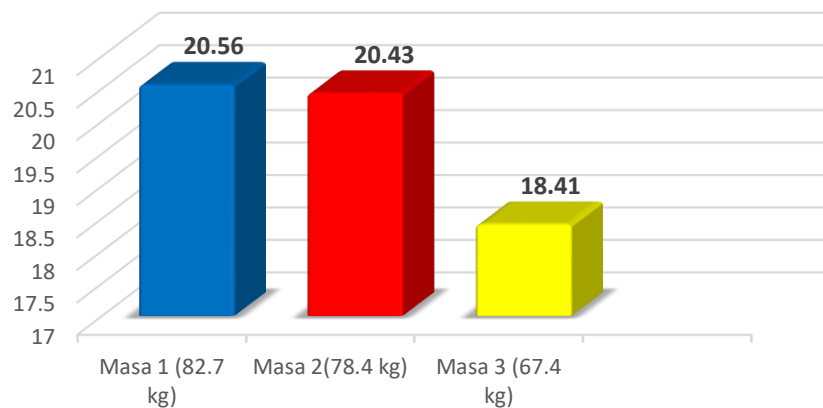
TABLA 15

RESULTADOS DE ENERGÍA MECÁNICA

Masa (kg)	Energía Cinética(J)	Energía Potencial Elástica (J)	Energía Potencial Gravitatoria (J)	Energía mecánica (J)
82.7	5.97	0.0084	14.59	20.56
78.4	6.59	0.0012	13.83	20.43
67.4	6.52	0.00054	11.89	18.41

Figura 28

Totales de resultados de energía



La Tabla 15 y Figura 28, se muestra la energía mecánica obtenida a partir de la suma de energías cinética, potencial elástico y potencial gravitatorio, que fueron generadas desde la masa de individuos, resultando energías mecánicas de 20.56 J, 20.43 J y 18.41 J. Estos resultados, fueron procesados a través del software EXCEL que compara la energía mecánica de cada individuo con su masa respectiva.

3.3.1.2 Resultados de la energía generada.

Se buscó identificar la cantidad de energía eléctrica renovable que generó este diseño de una baldosa piezoeléctrica, obteniéndose los siguientes resultados:

Figura 29

Energía eléctrica generada (Wh)

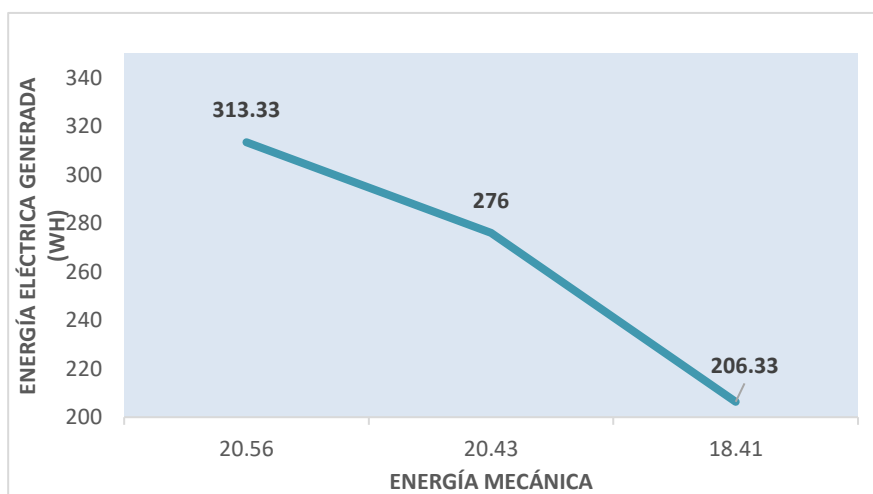


TABLA 16

RESULTADOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA GENERADA

Energía mecánica (J)	Energía eléctrica generada (Wh)
	330
20.56	290
	320
	280
20.43	270
	278
	220
18.41	200
	199

La Tabla 16 y la Figura 29, muestra la cantidad de energía eléctrica renovable que generó este diseño de una baldosa piezoeléctrica, resultando valores respecto a la energía mecánica empleada, donde 20.56 J generó de 290 Wh a 330 Wh; 20.43 J generó 270 Wh a 280 Wh y 18.41 J generó de 199Wh a 220Wh. Estos resultados, fueron procesados a través

del software EXCEL que compara la energía mecánica de cada individuo con la energía eléctrica generada.

3.3.1.3 Resultados del tiempo de carga

Se determina el tiempo que tarda en cargar una batería con la energía eléctrica generada, obteniéndose los siguientes resultados:

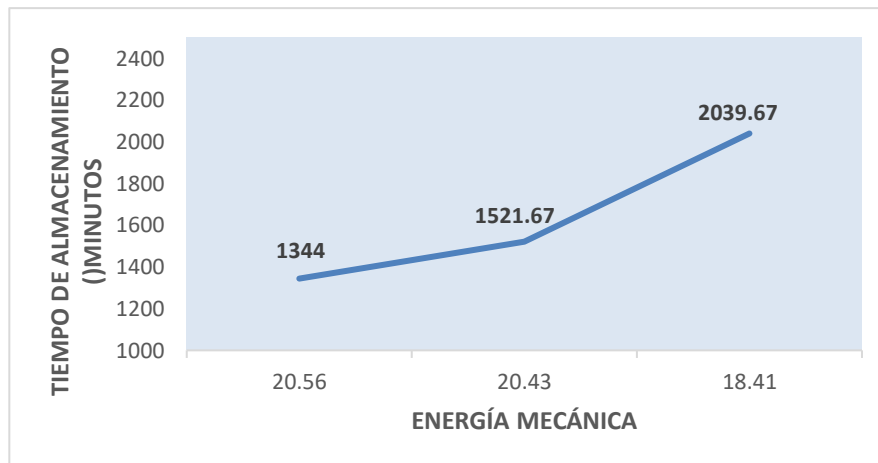
TABLA 17

RESULTADOS DEL TIEMPO DE CARGA

Energía mecánica (J)	Tiempo de almacenamiento (minutos)
20.56	1272
	1448
	1312
20.43	1500
	1555
	1510
18.41	1909
	2100
	2110

Figura 30

Resultados de tiempo de almacenamiento



La Tabla 17 y la Figura 30, muestra el tiempo que tarda en cargar una batería (tiempo de almacenamiento) con la energía eléctrica generada, resultando valores respecto a la energía mecánica empleada, donde 20.56 J, tardo de 1272 a 1448 minutos; 20.43 J, tardo de 1500 a 1555 minutos y 18.41 J, tardo de 1909 a 2110 minutos. Estos resultados, fueron procesados a través del software EXCEL que compara la energía mecánica de cada individuo con la energía eléctrica generada.

3.4 Caso de estudio en vehículos

Para hacer el análisis se tomará como base los datos de tres vehículos de la Comunidad de la Universidad Técnica del Norte del año 2022.

Este informe recoge la información del peso y la velocidad que circula por la carretera de la Comunidad. Debido a su bajo tránsito el tramo de carretera para el estudio es relativo a la Carrera de Electricidad, se optó por tomar las características de tres vehículos livianos y cuyos datos se observa en la Tabla 18.

TABLA 18

DATOS ESPECÍFICOS DE LOS VEHÍCULOS

Datos específicos	Vehículo 1	Vehículo 2	Vehículo 3
Masa (kg)	880	1120	1644
Marca	Fiat	Chevrolet	Suzuki
Modelo	Uno 1.1 MT	Aveo Family STD 1.4L	Grand Vitara 5p 2.0 JLX
Fabricación (año)	1996	2014	2013

Pero tener el peso no es lo suficiente para saber la fuerza que ejercerá el vehículo sobre el material piezoeléctrico, para ello es necesario calcular cual es la presión que produce cada una de las ruedas sobre el firme. Para ello se realizan los siguientes cálculos, primero la fuerza total ejercida por el vehículo con la ayuda de la Ecuación 2:

Pero teniendo en cuenta que esta fuerza se reparte entre las cuatro ruedas, cada una de ellas ejercerá una fuerza proporcional.

Se estima que una rueda tiene una superficie de contacto de 20cm x 10cm, lo que equivale a 200 cm^2 . (Agudelo Zapata, 2016)(MOTORGIGA, 2022)

Teniendo en cuenta entonces la superficie total de contacto que se repartirá la fuerza como se observa en la Ecuación 3.

Comparando con los valores de la bibliografía, que están en torno a los 0,2 MPa, (Agudelo Zapata, 2016), se puede determinar que el orden de magnitud estimado es correcto.

Para el cálculo de la tensión por unidad de generación se utiliza la Ecuación 4 donde VPZT es la tensión entregada por un piezoeléctrico y se expresa en voltios.

Para calcular el voltaje producido por cada PZT se siguen los mismos pasos que fueron vistos en el capítulo anterior, pero teniendo en cuenta que ahora la baldosa de iguales características está apoyada sobre únicamente 50 piezoeléctricos, pero por donde aplica la fuerza son 15 piezoeléctricos. Que sustituyendo en la Ecuación 4 da el siguiente valor para el voltaje de cada PZT.

A continuación, en la Tabla 19 se detalla los diferentes pasos que se realiza para el cálculo estimado del voltaje de cada piezoeléctrico sometido a prueba por la fuerza ejercida por el neumático de los tres vehículos ligeros de prueba.

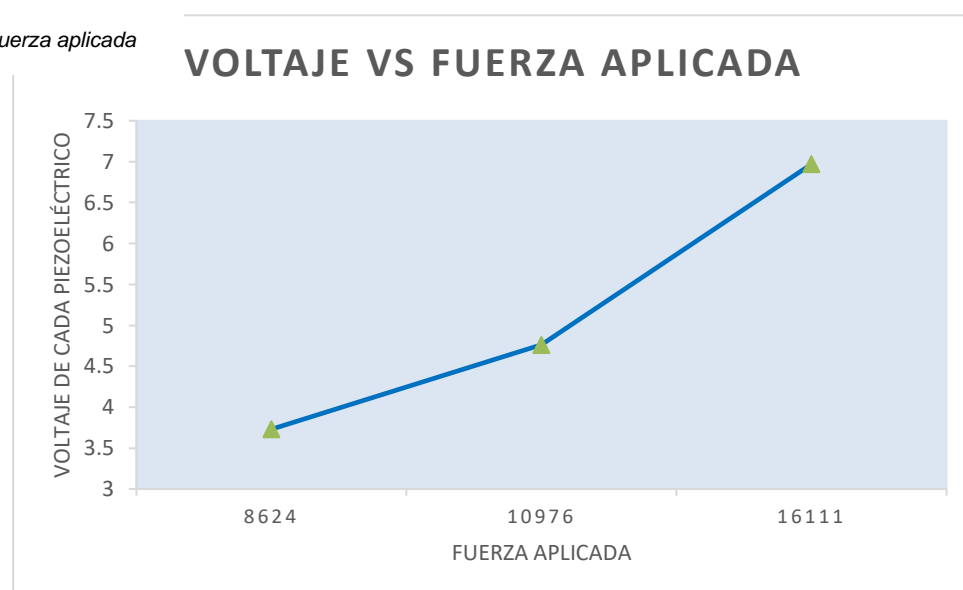
TABLA 19

CALCULO DE VOLTAJE DE CADA PIEZOELÉCTRICO DE LOS DIFERENTES VEHICULOS

Datos específicos	Vehículo 1	Vehículo 2	Vehículo 3
$F_{total}(N)$	8624	10976	16111
$F_{rueda}(N)$	2156	2744	4027
$F_{PZT}(N)$	144	183	268
$V_{PZT}(V)$	3.73	4.76	6.97

Figura 31

Voltaje vs fuerza aplicada



En la Figura 31 se puede observar la fuerza aplicada y proporcional a esta su voltaje de los tres vehículos sometidos a estas pruebas.

A continuación, en la Tabla 20 se compara la velocidad de cada vehículo ejerciendo una fuerza sobre la cerámica dando como resultado un voltaje. Cabe recalcar que el voltaje varía dependiendo de la velocidad y la fuerza aplicada sobre la baldosa.

Para explicar claramente la Tabla 20 se grafica comparando la velocidad con la fuerza aplicada de cada vehículo puesto a prueba cuando cruza la baldosa y esta produce un voltaje proporcional a su peso como se observa en la Figura 32.

TABLA 20

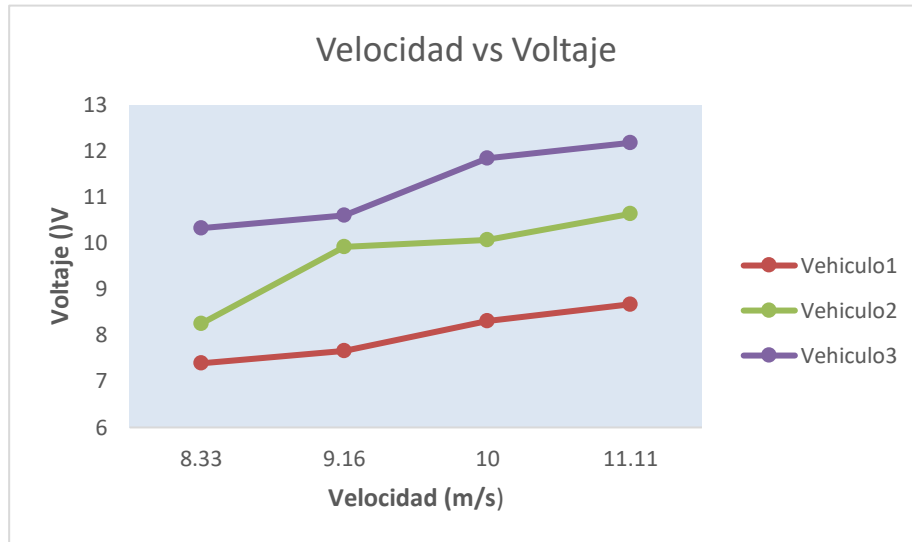
PRUEBA DE VOLTAJE DE CADA PIEZOELÉCTRICO DE LOS DIFERENTES VEHICULOS

Velocidad (m/s)	Vehículo 1	Vehículo 2	Vehículo 3
8.33	7.39	8.25	10.32
9.16	7.66	9.91	10.6

10	8.31	10.06	11.83
11.11	8.67	10.63	12.17

Figura 32

Voltaje pico frente a la velocidad



3.5 Pruebas y adquisición de datos a vehículos ligeros físicamente.

En la Tabla 21 se puede observar los datos de placa del primer vehículo y la velocidad que transita sobre el dispositivo puesto a prueba que es la cerámica piezoeléctrica para con ello obtener un voltaje generado como se observa en la Figura 33.

TABLA 21

DATOS ESPECÍFICOS DEL VEHÍCULO 1

Datos específicos	Vehículo 1
Masa (kg)	880
Marca	Fiat
Modelo	Uno 1.1 MT
Fabricación (año)	1996
Velocidad (m/s)	11.11

Figura 33

Voltaje pico frente a la fuerza y velocidad aplicada



En la Tabla 22 se puede observar los datos de placa del segundo vehículo y la velocidad que transita sobre el dispositivo puesto a prueba que es la cerámica piezoeléctrica para con ello obtener un voltaje generado como se observa en la Figura 34.

TABLA 22

DATOS ESPECÍFICOS DEL VEHÍCULO 2

Datos específicos	Vehículo 2
Masa (kg)	1120
Marca	Chevrolet
Modelo	Aveo Family STD 1.4L
Fabricación (año)	2014
Velocidad (m/s)	11.11

Figura 34

Voltaje pico frente a la fuerza y velocidad aplicada



En la Tabla 23 se puede observar los datos de placa del tercer vehículo y la velocidad que transita sobre el dispositivo puesto a prueba que es la cerámica piezoeléctrica para con ello obtener un voltaje generado como se observa en la Figura 35.

TABLA 23

DATOS ESPECÍFICOS DEL VEHÍCULO 3

Datos específicos	Vehículo 3
Masa (kg)	1644
Marca	Suzuki
Modelo	Grand Vitara 5p 2.0 JLX
Fabricación (año)	2013
Velocidad (m/s)	11.11

Figura 35

Voltaje pico frente a la fuerza y velocidad aplicada



En la Tabla 23 se puede observar los datos de placa del tercer vehículo y la velocidad que transita sobre el dispositivo puesto a prueba que es la cerámica piezoeléctrica para con ello obtener un voltaje generado como se observa en la Figura 35.

3.6 DISCUSION DE RESULTADOS

El estudio propone un diseño cerámico piezoeléctrico que genera electricidad renovable a partir de los pasos humanos y los movimientos de vehículos (energía mecánica), lo que reduce el consumo de electricidad convencional y por ende el consumo de combustibles fósiles. combustible y reducir indirectamente la contaminación ambiental, de conformidad con el art. (Concha Reátegui & Zamalloa Rubina, 2017), quienes propusieron un generador de energía eléctrica renovable en las estaciones de la línea 1 del tren eléctrico de Lima, consiguiendo ahorros de costos energéticos. Asimismo, (Solban & Moussa, 2019) instalaron baldosas piezoeléctricas de 90 cm² generando energía eléctrica renovable basados en el desplazamiento de los transeúntes. Similar a lo mencionado por (Elahi, Eugeni, & Gaudenzi, 2018) quienes identificaron que el cuerpo humano se mantiene en constante movimiento generando energía eléctrica útil a través del efecto piezoeléctrico. En tal sentido, queda demostrado que la propuesta metodológica planteada, mantiene resultados favorables en la obtención de energía eléctrica renovable.

Con relación a la energía mecánica obtenida a partir de la masa de individuos (67.4 kg. a 82.7 kg.) y el movimiento de la persona en su desplazamiento, se obtuvo valores de 10.41 a 20.56 Joule que fueron utilizadas en el diseño de una baldosa piezoeléctrica a fin de generar energía eléctrica renovable. Del mismo modo, (Nuñez Culqui, 2018), en su estudio implementó una tecnología piezoeléctrica para generar energía eléctrica mediante el movimiento corporales de las personas de la discoteca Cayet, con un peso de 75 g. a 65 g. aproximadamente, liberando 4806,76 Joule de energía mecánica que fueron explotados por los generadores piezoeléctricos. Sustentados metodológicamente por (Tamayo-Zapata & Cardozo-Gutiérrez, 2017), quienes lograron resultados reales al realizar un piloto horizontal en un sistema piezoeléctrico, comprobando la factibilidad al momento de la instalación y el costo del sistema.

Respecto a la energía eléctrica renovable generada por el diseño de una baldosa piezoeléctrica (Moreno Rodríguez & Sernaqué Puertas, 2015), obtuvieron 2004.48 Wh que fue producida por los transeúntes, a través de su desplazamiento. A su vez, (Solban & Moussa, 2019), generaron más de 1000 Wh a través de una baldosa de 90 cm² y 2,5 centímetros de espesor. Contrastando con (Carlos Pascual & Sanchez Fernandez, 2020), quienes fueron capaces de generar 23 524 kWh por día, capaz de abastecer 139 viviendas con un consumo estimado de 170 000Wh, empleando un sistema de Energy Harvesting de

dos a tres carriles con módulos piezoeléctricos a través del software SketchUp. Por su parte, (Gómez Molina, 2018), produjo un voltaje de 12 voltios, aprovechando las vibraciones provocadas al momento de caminar. Mientras que en la investigación se obtuvo valores de 210Wh a 420Wh, demostrando que es posible sustentar un sistema compuesto por materiales piezoeléctricos los cuales tienen la capacidad de transformar la energía mecánica en energía eléctrica generada por las personas que transitan sobre las baldosas y produciendo energía eléctrica limpia, renovable y útil.

En cuanto al tiempo de almacenamiento, es decir el tiempo que tardó en cargar una batería con la energía eléctrica generada, (Vera & Andre, 2019), tardó 1500 minutos en cargar una batería de 6v con una capacidad de carga de 4000 mA, que fue suficiente para mantener encendida 3 bombillas led de 5W generando iluminación de un ambiente de 5 m² por 9 horas 40 minutos (580 minutos), utilizando un arquetipo de bicicleta elíptica modelo GM SPORT 920, mientras que, en la investigación el tiempo que tardó en cargar una batería de 12 v de capacidad de carga de 1200mA, fue de 1272 a 2110 minutos, sustentando la optimización de la tecnología piezoeléctrica en cuanto al tiempo de almacenamiento para ejercer la carga de dispositivos eléctricos.

La baldosa piezoeléctrica, tienen la capacidad de transformar la energía cinética en energía eléctrica mediante el efecto piezoeléctrico. En ese sentido, (Ojeda, 2019), empleó eco-baldosas piezoeléctricas Pavegen de forma rectangular de medidas 60x45cm, con capacidad de generar 7 watts por pisada, conteniendo en su centro una iluminaria Led que se enciende al ser pisado, que permite reconocer el número de pisadas ejercidas y calcular la energía concentrada, siendo más visible la tecnología aplicada. Por otro lado, (Perez & Alfaro, 2016), crearon una baldosa piezoeléctrica de material fibracel con dimensiones de 30 cm x 30 cm y un espesor de 4 mm, en su interior contuvo 52 discos de cartón entre la superficie de la placa fibracel en hileras de 6 y 7 de forma aleatoria y el elemento piezoeléctrico se intercaló en el disco de cartón de 28mm, además, se empleó cianoacrilatos para la adhesión de los elementos piezoeléctricos y finalmente se añadió silicona en la baldosa para su protección. Asu vez, (Jaramillo Romero et al., 2018), plantearon el diseño de baldosas piezoeléctricas con dimensiones de 45 cm x 60 cm, capaces de generar 8.5 watts con una flexión de 5mm por cada paso de una persona, aunque resulta preciso mencionar que es una medición referencial, ya que depende del peso de la persona que suministra su pisada, a su vez, permite reducir significativamente la huella de carbono. Contrastando con (Gómez Molina, 2018), diseñó un sistema mediante la piezoelectricidad de energía Harvesting, sustentado por una baldosa piezoeléctrica de material cerámico, utilizando en su interior material monocristalino como el cuarzo que posee propiedades como factor de acoplamiento electromecánico, logrando generar 12 voltios. De igual modo, (Sotelo Uribe, 2015), La tecnología utilizada (Energy Harvesting) está contenida en placas piezoeléctricas

de material cerámico, en cuyo interior se encuentran 32 discos de vibración, generando acumulación de energía, permitiendo su uso en edificaciones por su utilidad en un espacio reducido, generando confort para las personas que habitan en el edificio. Sin embargo, en la investigación se diseñó una cerámica piezoeléctrica de material de Triplex Marino debido a su gran capacidad de rigidez al momento de ejercer una presión, su diseño estuvo compuesto por dimensiones de 40 x 73 cm conteniendo en su interior 50 discos piezoeléctricos simétricamente iguales y unidos en paralelo, adicionalmente, sobre estos discos fueron colocados 50 anillos de cartón rígido, haciendo la función de generar vibraciones y como componente final se colocó en la parte superior e inferior una capa de piso Ecoliso de 1cm de espesor, que sirvió como resorte elástico colocado encima del disco piezoeléctrico, cumpliendo la función de ejercer presión a los componentes antes mencionados al momento de realizar las pisadas generando energía eléctrica renovable.

Se determinó la energía mecánica que será utilizada mediante el diseño de una baldosa piezoeléctrica para generar energía eléctrica renovable, se aprovechó la masa de las 3 personas de prueba (82.7 kg, 78.4 kg, 67.4 kg), para poder despejar la energía mecánica se identificó que la sumatoria de la energía potencial (gravitatoria, elástica) y la energía cinética dan como resultado la energía mecánica, por lo cual mediante los sustentos teóricos y calculando la energía potencial gravitatoria (14.52 J, 13.83 J, 11.89 J), la energía potencial elástica (0.00084 J, 0.0012 J, 0.00054J) y la energía cinética (5.97 J, 6.59 J, 6.52 J) se obtuvo (20.56 J, 20.43 J, 18.41 J) como energía mecánica.

Para obtener la energía eléctrica renovable generada se realizó 3 pruebas por cada energía mecánica calculada, por ello al evaluar la energía mecánica (20.56 J) se obtuvo (330Wh, 290Wh, 320Wh), la energía mecánica de (20.43 J) generó (280Wh, 270Wh, 278Wh) y la última energía mecánica 18.41 J (220Wh, 200Wh, 199Wh). Para determinar el tiempo que tardará en cargar una batería con la energía eléctrica generada se inicia con la primera obtención de energía mecánica (20.56 J) generó 330 Wh de energía renovable lo cual tarda en cargar la batería de 12 V en 21 horas con 12 minutos. Seguido de la segunda obtención de energía mecánica (20.43 J) generó 280 Wh de energía renovable lo cual tarda en cargar la batería de 12 V en 25 horas con 0 minutos. Y por último la última obtención de energía mecánica (18.41 J) generó 220 Wh de energía renovable lo cual tarda en cargar la batería de 12 V en 31 horas con 49 minutos. En concreto, se ha presentado el diseño de un sistema teórico capaz de recuperar la energía mecánica producida por las personas a su paso por una carretera gracias al efecto piezoeléctrico.

CONCLUSIONES

- El estudio realizado permitió conocer un método el cual es conocido como Energy

Harvesting o energía del ambiente. El cual se ha centrado en el estudio del aprovechamiento del tránsito peatonal y vehicular como posibles fuentes de energía mecánica, su conversión, aprovechamiento y almacenamiento como energía eléctrica. Gracias al trabajo de investigación realizado sobre los materiales piezoeléctricos se conoce que existen diferentes materiales de los cuales pueden ser fabricados de esta manera se eligió la cerámica piezoeléctrica la cual tiene mejores características que ayudan a su capacidad de generación de energía eléctrica y se encuentra en el país.

- El diseño del prototipo se tuvo que realizar con base en el tamaño y características de los elementos y dispositivos seleccionados, conformando un modelo compacto con simetría y de acuerdo con las distancias apropiadas entre componentes para obtener una mayor eficacia de funcionamiento. Para ello se utilizó el software AutoCAD, mismo que facilitó la creación de varios diseños, permitiendo escoger el más óptimo y proceder al ensamblado. Para el diseño del circuito electrónico y circuito impreso o PCB se utilizó el software Proteus. Para el modelo elaborado a lo largo del trabajo, se decide utilizar una conexión en paralelo de los piezoeléctricos debido a que estos funcionan en rango cuasi-estático, en el cual, como se explica anteriormente, se generan picos de voltaje positivos y negativos, lo que hace que se requiera usar puentes de diodos para rectificar la señal. Para este tipo de aplicaciones es bueno usar piezoeléctricos que posean un área transversal reducida con el fin de que produzcan picos de voltaje mayores. En este caso se usaron piezoeléctricos de 35mm de diámetro. Algo muy importante tiene que ver con la cantidad de piezoeléctricos que se utilizan en el sistema.
- El sistema para implementarse se diseñó de tal manera que su implementación no conlleve trabajos de obra civil ni de reubicación de equipos o de instalaciones existentes, buscando aprovechar totalmente el espacio de entrada en su estado actual. Durante la implementación del dispositivo de generación el uso de software libre y de dispositivos de bajo costo como es el caso de Arduino IDE, Arduino Mega y módulo de tarjeta SD de Arduino que permitieron obtener excelentes resultados principalmente en lo que respecta a la programación y a la adquisición de datos, con la ventaja de que no se incurren en gastos excesivos.

RECOMENDACIONES

- Es necesario dar seguimiento y continuidad al estudio de los materiales piezoeléctricos como una fuente de generación de energía eléctrica para que esta pueda tener un mayor alcance y campo de aplicación, ya que en Ecuador no existe la información y la divulgación necesaria. La energía obtenida por el efecto piezoeléctrico puede llegar a ser una fuente alternativa importante en un futuro no

muy lejano, debido al crecimiento en la demanda de energía eléctrica y al abuso que se tiene a los recursos naturales.

- Se recomienda investigar nuevos materiales piezoeléctricos que puedan tener mejores características en cuanto a parámetros de corriente y potencia, ya que el material empleado, su función principal no es la de generación. Para mejorar la carencia de los parámetros antes mencionados es adentrarse más en temas de electrónica de potencia que puedan contribuir a un mejor resultado y poder abastecer a cargas de mayor potencia.
- Parte de buscar algún otro material piezoeléctrico no solo es para mejorar los parámetros bajos de corriente y potencia, se recomienda buscar algún otro material que pueda soportar una carga de peso mucho mayor sin llegar al punto de ruptura y así poder utilizar diferentes formas de deformación como lo son: el tránsito vehicular de maquinaria pesada, transportes férreos y no solo el flujo peatonal y vehículos livianos como se realizó en este trabajo.
- Para finalizar, una posible solución es desarrollar este sistema para ser aplicado en autopistas de carros. Ya que poseen masas mucho mayores que la de las personas, la energía mecánica que transfieren al suelo es mucho mayor y se puede obtener mucha más energía. La idea es que estos sistemas trabajen en rango dinámico esto se logra cuando la duración de la fuerza aplicada sobre el piezoeléctrico es menor que el tiempo que se demora en cargar el condensador. De esta forma, el piezoeléctrico solo generará pulsos de voltaje positivos, haciendo que se optimice el sistema. El tiempo que tarda un automóvil en desplazamiento en contacto con el suelo, es mucho menor que el de un peatón, por lo tanto, es posible que en estos casos se entre a un rango dinámico haciendo más eficiente el sistema.

REFERENCIAS

- A, Serway. Thompson, S. (2008). *FISICA PARA CIENCIAS E INGENIERIA* (Septima; C. L. Editores & S. A. de C.V, Eds.).
- Agudelo Zapata, J. A. (2016). *Como estimar la huella de un neumático para nuestros cálculos*. Estructurando.
- Alves, P. (2012). *Soluciones Piezoeléctricas*. Retrieved from <https://aprenderly.com/doc/1632951/atcp-del-brasil>
- Angulo, G. (2017). *researchgate*. Retrieved from <https://www.researchgate.net>
- APC International, L. (2011). *Piezoelectric Ceramics: Principles and Applications*.
- ARCERNNR. (2022, September 13). Balance Nacional de Energía Eléctrica – Agencia de

Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables. *Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables*. Retrieved from <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/balance-nacional-de-energia-electrica/>

Arduino. (2022). . Retrieved from <https://www.arduino.cc/en/software>

Benítez Varela, V. E. (2019). *Estado nutricional de docentes y empleados de una Institución de Educación Superior, Ibarra-Ecuador*. QUITO/UIDE/2019.

Bhavsar, R., Vaidya, N., Ganguly, P., Humphreys, A., Robisson, A., Tu, H., & Mckinley, G. (2021). *Inteligencia en materiales innovadores*.

Carlos Pascual, V. A., & Sanchez Fernandez, J. S. (2020). *Generación de energía eléctrica renovable utilizando una baldosa piezoeléctrica-2020*.

Chilabi, H. J., Salleh, H., Supeni, E., Aarray, A., Rezali, K., & Atrah, A. B. (2020). Harvesting Energy from Planetary Gear Using Piezoelectric Material. *Energies*, 13, 223.

Chong Proaño, M. R., & Chila Pacheco, E. L. (2019). *Diseño sostenible para la eficiencia energética de iluminación utilizando efecto piezoeléctrico en los bloques FIIC de la ULVR*. Guayaquil: ULVR, 2019.

Colmenar, A., Castro, M. (2017). *Servicios Educativos Comerciales Virtuales para Ingenieros y Técnicos Latinoamericanos SECVITEL*.

Concha Reátegui, P. R., & Zamalloa Rubina, R. F. (2017). *Proyecto de viabilidad para implementar un sistema de generación de energía renovable en las estaciones de la línea 1 del tren eléctrico de Lima*.

Córdoba Luis. (2014). *Estudio de la respuesta piezoeléctrica en PVDF*.

De La Cruz Brañez, J. E. (2021). *Configuración del Borde de los Equipamientos Urbanos y Comportamiento del Peatón en la Ciudad de Huancayo, 2019-Caso Coliseo Wanka*.

Delta Volt. (2021). Baterías para almacenar energía.

E.L, P., Udhayakumar, S., Mg, V., & Vivek, V. (2020). Vibration Based Piezoelectric Energy Harvesting - A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 995, 12007. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/995/1/012007>

ECOCAUCHO. (2022). FICHA TÉCNICA PISOS.

Edimca. (2022). Triplex Marino.

Elahi, H., Eugeni, M., & Gaudenzi, P. (2018). A review on mechanisms for piezoelectric-based energy harvesters. *Energies*, 11(7), 1850.

Ember. (2022, September 13). Global Electricity Review 2022. *Ember*. Retrieved from <https://ember-climate.org/insights/research/global-electricity-review-2022/>

Gómez Molina, Á. (2018). *Diseño de un Sistema de energy harvesting basado en piezoeléctricos*.

Guerra, L. C., & Márque, E. S. (2014). La comunicación social y su papel en la divulgación científica. *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes*, 3(2 SE-Artículo

Científico).

Henríquez P. (2012). *Regulador de panel solar-batería- carga con microcontrolador PIC*.

Hoang, T. (2019). *Dispositif de récupération d'énergie piézoélectrique : modélisation, fabrication et caractérisation*.

Jaramillo Romero, A. F., López Gelvez, M. G., & Muñoz Fuentes, K. J. (2018). *Diseño de un prototipo de baldosas inteligentes del alto tráfico para implementación en el sistema de transporte público transmilenio de la ciudad de Bogotá*. Universidad Piloto de Colombia.

Johnson Matthey. (2017). Efecto piezoeléctrico. Retrieved from Piezo Products GmbH website: <https://www.piezoproducts.com/technology/working-principle-piezo/>

Katz, A. (2014). *Residencial piezoeléctrico Energy Sources*. Delta. Medellín-Colombia.

Ladino, A. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA GUÍA DE ONDA PARA UN SISTEMA DE REFUERZO SONORO*.

Latif, R., mohd noor, M., Yunas, J., & Hamzah, A. (2021). Mechanical Energy Sensing and Harvesting in Micromachined Polymer-Based Piezoelectric Transducers for Fully Implanted Hearing Systems: A Review. *Polymers*, 13, 2276.

<https://doi.org/10.3390/polym13142276>

León Carreño, M. S. (2021). *Toxicidad y efectos secundarios del cianoacrilato en odontología*.

Li, X., Upadrashta, D., Yu, K., & Yang, Y. (2019). Analytical modeling and validation of multi-mode piezoelectric energy harvester. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 124, 613–631.

Merino Alvarado, V. A. (2012). *Análisis de la operación y desempeño de un sistema de generación de energía con la utilización de baldosas piezoeléctricas*. Retrieved from <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/123456789/5883>

Mitcheson, P., Yeatman, E., Rao, G., Holmes, A., & Green, T. (2008). Energy Harvesting From Human and Machine Motion for Wireless Electronic Devices. *Proceedings of the IEEE*, 96, 1457–1486. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2008.927494>

Moreiras, D., Marcos Pascual, C., García-Granda, S., Martín-Izard, A., Velasco Roldán, F., & Merchán, A. (1991). La Stolzita de La Tala: estructura cristalina, reflectancia y microdureza Vickers. *Boletín de La Sociedad Española de Mineralogía*, 14, 23–31.

Moreno Rodríguez, J. E. J., & Sernaqué Puertas, J. M. (2015). *Diseño de baldosas con generadores piezoeléctricos para la iluminación del pórtico de la Universidad Señor de Sipán*.

MOTORGIGA. (2022). SUPERFICIE DE LA HUELLA. Retrieved from SUPERFICIE DE LA HUELLA - Definición - Significado website:

<https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/superficie-de-la-huella-definicion->

significado/gmx-niv15-con195657.htm

- Núñez Culqui, M. A. (2018). *Aprovechamiento de la Tecnología Piezoeléctrica para la Generación de Energía Eléctrica en la Pista de Baile de la Discoteca La Cayet–Distrito de Soritor–Departamento de San Martín*.
- Ochoa, P., Villegas, M., Pons Rovira, J. L., Fernández Lozano, J. F., & Bengochea, M. A. (2002). *Piezocomposites metal-cerámica como elementos activos en acelerómetros*.
- Ojeda, E. (2019). Diseño de instalación de baldosas piezoeléctricas para iluminar multicancha en la sede Viña del Mar. *Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María*.
- Oliveira, F., Monteiro, D., & Martini Colombo, D. (2021). Design, Modeling, Characterization and Analysis of a Low Frequency Micro-fabricated Piezoelectric Cantilever for Vibration Sensing and Energy Harvesting Applications. *Sensors and Actuators A: Physical*, 326, 112709. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.112709>
- Ordoñez, R., Jumbo, S., & Stalin, D. J. W. (2022). *Diseño e implementación de electrificación en un sector rural del golfo de Guayaquil mediante sistema fotovoltaico aislado*.
- Peddigari, M., Kwak, M. S., Min, Y., Ahn, C.-W., Choi, J.-J., Hahn, B. D., ... Jang, J. (2021). Lifetime estimation of single crystal macro-fiber composite-based piezoelectric energy harvesters using accelerated life testing. *Nano Energy*, 88, 106279. <https://doi.org/10.1016/J.NANOEN.2021.106279>
- Pereira, A. (2010). *Cerámicas piezoeléctricas: funcionamiento y propiedades..*. São Carlos - Brasi.
- Pereira, M., & Pulido, A. (2021). Energías renovables no convencionales para satisfacer la demanda energética: análisis de tendencias entre 1990 y 2018. *Revista EIA*, 18. <https://doi.org/10.24050/reia.v18i36.1513>
- Perez, E. P., & Alfaro, S. V. (2016). *Diseño e implementación de un generador piezoeléctrico baldosa, para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia*. México, CD de México: Instituto Politécnico Nacional.
- Run, D. (2011). *Piezoelectric Ceramics: Principles and Applications*. APC International Ltda. (2da ed.).
- Sepúlveda Orozco, E. (2015). *Diseño de un Colector de Energía Piezoeléctrico (Energy Harvesting) Mediante Optimización Topológica que Maximice la Transformación de Energía Mecánica en Eléctrica Generada por un Ser Humano al Caminar*. Medellín.
- Solban, M. M., & Moussa, R. R. (2019). Piezoelectric Tiles Is a Sustainable Approach for Designing Interior Spaces and Creating Self-Sustain Projects. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 397(1), 12020. IOP Publishing.
- Sotelo Uribe, J. A. (2015). *Visión de la aplicación de los sistemas piezoeléctricos para la*

generación de energía eléctrica a partir del viento en edificios. Universitat Politècnica de Catalunya.

Tamayo-Zapata, D. A., & Cardozo-Gutiérrez, N. K. (2017). *El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá.*

Tamayo, D., & Cardos, N. (2017). *repository.ucatolica.edu.*

Tassinari, C., Mateus, A., Velásquez, M. E., Munhá, J., Lobato, L., Bello, R., ... Campos, W. F. (2015). Geochronology and thermochronology of gold mineralization in the Turmalina deposit, NE of the Quadrilátero Ferrífero Region, Brazil. *Ore Geology Reviews*, 67, 368–381.

Tsaplev, V., Konovalov, R., & Abbakumov, K. (2015). Disk Bimorph-Type Piezoelectric Energy Harvester. *Journal of Power and Energy Engineering*, 03(04), 63–68.

<https://doi.org/10.4236/jpee.2015.34010>

Urueña Orellana, C. A. (2021). *Diseño y evaluación de un acelerómetro basado en el uso de recolectores de energía piezoeléctricos.*

VALENCIA, D. R. Z., & RUEDA, G. B. (2012). *ANALISIS DE VIABILIDAD PARA DESARROLLO DE PROTOTIPO DE ACERA QUE PRODUCE ELECTRICIDAD.*

Vargas Pillicita, J. P. (2020). *Análisis comparativo del nivel de energía eléctrica producida por baldosas piezoeléctricas en función de su forma geométrica en la Universidad Técnica de Cotopaxi.* Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi: Facultad de Ciencias de

Vera, P., & Andre, K. (2019). *Prototipo generador de energía eléctrica por el uso de una bicicleta elíptica para la iluminación de un ambiente de deporte.*

ANEXOS

Anexo A. Material para la construcción de la base.



Triplex Marino

Características

- Tableros elaborados con madera tropical.
- Tableros clase única.
- Caras y contracaras de espesor de 8/10mm, que reducen la absorción de humedad en el interior del tablero.
- Uso de resina fenólica.
- Contenido de humedad 10-12%.

Principales aplicaciones

- Elaboración de muebles de barcos, pisos de carrocerías de vehículos de transporte masivo.
- Bases o cajas de almacenamiento de productos congelados de exportación.
- Tableros para encofrados de losas o columnas.

Recomendaciones

- En aplicaciones para uso exterior, se puede usar barnices, tintes, lacas o pinturas.
- Para tablero de encofrado generan terminaciones lisas tanto en columnas como en losas, requiere desencofrante para realizar el desmolde.

Ventajas del producto

- 100% madera natural de bosques sustentables.
- Diseño de tablero destinado para usos donde requieren una alta resistencia a la humedad o a la intemperie.
- Certificación de respaldo INEN 900, para tableros contrachapados.
- Alta resistencia a la flexión
- Recomendado para varios usos como tablero de encofrado

DIMENSIONES	ESPELOR (mm)	5.29		12	15	18
	LARGO (m)	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44
	ANCHO (m)	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
TOLERANCIAS	ESPELOR (mm)	-0.2/0.2	-0.5/0.9	-0.5/0.9	-0.5/0.9	-0.5/0.9
	LARGO (m)	0/+1.60	/+1.60	/+1.60	/+1.60	/+1.6
	ANCHO (mm)	0/+1.60	/+1.60	/+1.60	/+1.60	/+1.6
	DIAGONALES	0/+2	0/+2	0/+2	0/+2	0/+2
PAQUETE	UNIDADES	190	110	85	65	55
PESO / PIEZA	kg	190	110	85	65	55
DENSIDAD	kg / cm³	572	617	479	557	576

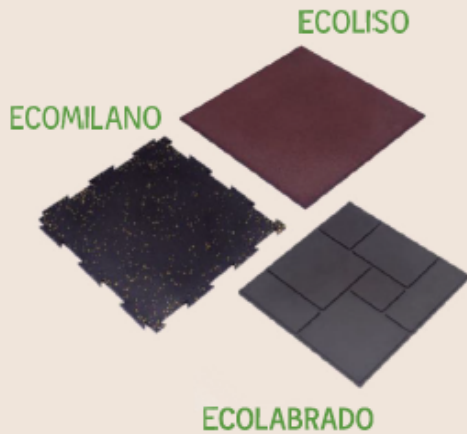
Anexo B. Material de base y recubrimiento.

Quito - Ecuador
www.ecocaucho.com.ec
f i y

FÁCIL MANTENIMIENTO

FÁCIL INSTALACIÓN

ADAPTABLE A CUALQUIER
ESPACIO Y SUPERFICIE



INFORMACIÓN TÉCNICA

ECOLISO

Dimensiones:	Espesor:
49.6cm de largo x 49.6cm de ancho	1 cm
98cm de largo x 150cm de ancho	1.2 cm
	1.6cm
	2 cm
Peso unitario:	
11kg – 22 kg	
18kg – 30 kg	

ECOLABRADO

Dimensiones:	Espesor:
50.5 cm de largo x 50.5 cm de ancho	1.6cm
	2 cm
Peso unitario:	
17kg – 22 kg	
18kg – 30 kg	

ECOMILANO

Dimensiones:	Espesor:
50 cm de largo x 50 cm de ancho	1.3cm
	2cm
Peso unitario:	
14kg – 22 kg	

COLORES



DUREZA

Shore 60 A +/- 5

PRESENTACIÓN

Paquetes de 4 unidades

CARACTERÍSTICAS

DURABLES

Por las características de la materia prima (llantas fuera de uso NFU), estos productos tienen mayor durabilidad que los productos convencionales.

ERGONÓMICOS

Piso suave que absorbe las imperfecciones del suelo y permite estar de pie por muchas horas.

ANTIDESLIZANTES

Por las características propias del material y su forma, es un piso que evita resbalarse.

PEDIDOS ESPECIALES

Estamos en capacidad de desarrollar productos de acuerdo a la solicitud del cliente (pedidos en volumen).

TOLERANCIA

+0/ - 0.5cm | +/- 0.18kg

USOS

Para equipar gimnasios, crossfit, fitness, área de ejercicios. Brinda comodidad, absorbe y reduce impactos, es flexible y estético.

Para áreas y juegos infantiles, zonas de recreación, jardines de infantes, escuelas, colegios y universidades.

Aptos para el ámbito ganadero: en establos, caballerizas, camiones, etc. Funciona como aislante de frío y reduce el impacto de los animales sobre la superficie.

Para todo tipo de lugares como espacios de relax, gimnasio personal, garaje y otros usos.

GARANTÍA

Por defectos de fabricación

Anexo C. Modulo Micro SD para Arduino

Micro SD Card Micro SDHC Mini TF Card Adapter Reader Module for Arduino



Description

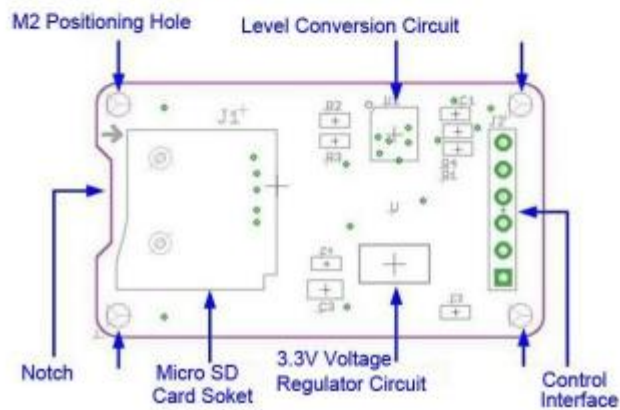
- The module (MicroSD Card Adapter) is a Micro SD card reader module for reading and writing through the file system and the SPI interface driver, SCM system can be completed within a file MicroSD card
- Support Micro SD Card, Micro SDHC card (high speed card)
- Level conversion circuit board that can interface level is 5V or 3.3V
- Power supply is 4.5V ~ 5.5V, 3.3V voltage regulator circuit board
- Communications interface is a standard SPI interface
- 4 M2 screws positioning holes for easy installation
- Control Interface: A total of six pins (GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS), GND to ground, VCC is the power supply, MISO, MOSI, SCK for SPI bus, CS is the chip select signal pin;
- 3.3V regulator circuit: LDO regulator output 3.3V for level conversion chip, Micro SD card supply;
- Level conversion circuit: Micro SD card to signal the direction of converts 3.3V, MicroSD card interface to control the direction of the MISO signal is also converted to 3.3V, general AVR microcontroller systems can read the signal;
- Micro SD card connector: self bomb deck, easy card insertion.
- Positioning holes: 4 M2 screws positioning holes with a diameter of 2.2mm, so the module is easy to install positioning, to achieve inter-module combination.

Anexo D. Parámetros del módulo Micro SD para Arduino.

Interface Parameters:

Items	Min	Typical	Max	Unit
Power Voltage VCC	4.5	5	5.5	V
Current	0.2	80	200	mA
Interface Electrical Potential	3.3 or 5			V
Support Card Type	Micro SD Card(<=2G), Mirco SDHC Card(<=32G)			—
Size	42X24X12			mm
Weight	5			g

Mirco SD Card Interface Module:



Anexo E. Modulo RTC DS 3231

General Description

The DS3231 is a low-cost, extremely accurate I²C real-time clock (RTC) with an integrated temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) and crystal. The device incorporates a battery input, and maintains accurate timekeeping when main power to the device is interrupted. The integration of the crystal resonator enhances the long-term accuracy of the device as well as reduces the piece-part count in a manufacturing line. The DS3231 is available in commercial and industrial temperature ranges, and is offered in a 16-pin, 300-mil SO package.

The RTC maintains seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator. Two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output are provided. Address and data are transferred serially through an I²C bidirectional bus.

A precision temperature-compensated voltage reference and comparator circuit monitors the status of V_{CC} to detect power failures, to provide a reset output, and to automatically switch to the backup supply when necessary. Additionally, the RST pin is monitored as a pushbutton input for generating a μ P reset.

Benefits and Features

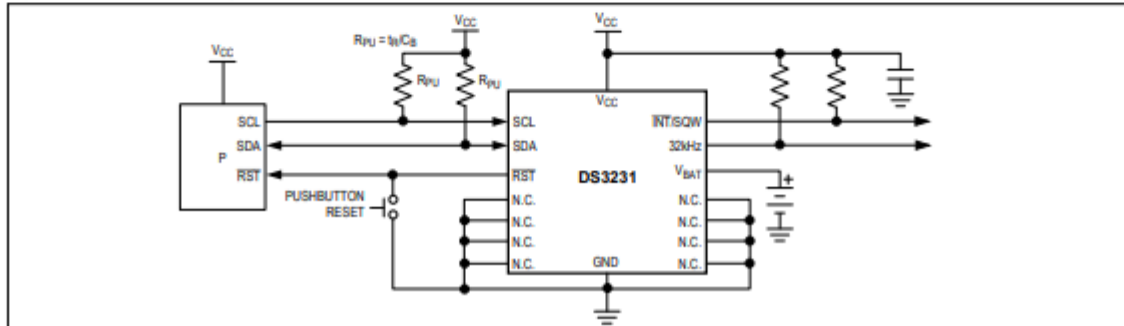
- Highly Accurate RTC Completely Manages All Timekeeping Functions
 - Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the Week, and Year, with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
 - Accuracy ± 2 ppm from 0°C to +40°C
 - Accuracy ± 3.5 ppm from -40°C to +85°C
 - Digital Temp Sensor Output: $\pm 3^\circ\text{C}$ Accuracy
 - Register for Aging Trim
 - $\overline{\text{RST}}$ Output/Pushbutton Reset Debounce Input
 - Two Time-of-Day Alarms
 - Programmable Square-Wave Output Signal
- Simple Serial Interface Connects to Most Microcontrollers
 - Fast (400kHz) I²C Interface
- Battery-Backup Input for Continuous Timekeeping
 - Low Power Operation Extends Battery-Backup Run Time
 - 3.3V Operation
- Operating Temperature Ranges: Commercial (0°C to +70°C) and Industrial (-40°C to +85°C)
- Underwriters Laboratories® (UL) Recognized

Applications

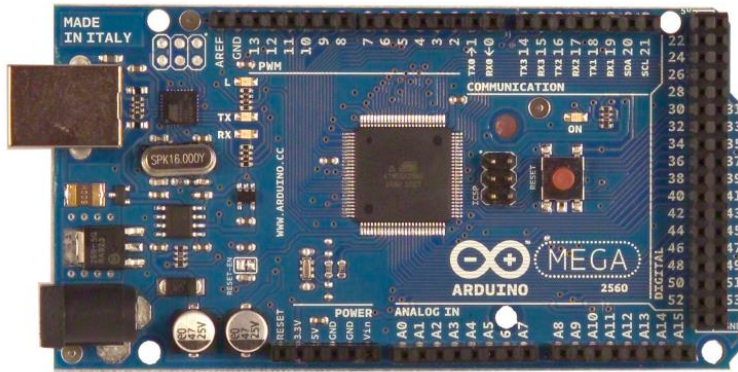
- Servers
- Telematics
- Utility Power Meters
- GPS

Ordering Information and Pin Configuration appear at end of data sheet.

Typical Operating Circuit



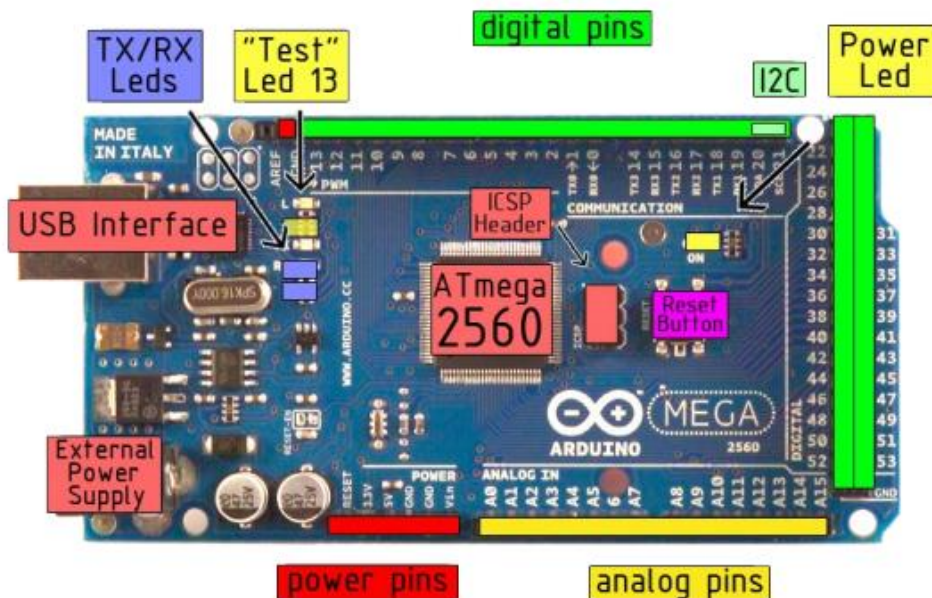
Underwriters Laboratories is a registered certification mark of Underwriters Laboratories Inc.



Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



Anexo G. Código en la IDE Arduino para la adquisición de datos.

```
#include <TimeLib.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>
```



```

RTC_DS1307 RTC;

//int SensorValue = A0;
float SensorValue = A0;
float voltaje = 0;
float v_real = 0;
float Value;
float corriente = 0;
float potencia = 0;
const float resis= 1000;
String ano;
String dia;
String mes;
String horas;
String minutos;
String segundos;
String Fecha;
String Hora;
String Nombreambrivo;
String Imprimir;

const int chipSelect = 53;

void setup() {
  pinMode(A0,INPUT);
  Serial.begin(9600);

  RTC.begin();

  if (! RTC.isrunning())
  {
    Serial.println("RTC no está activado!");
    //Ajustar la fecha y hora en la que se compiló este código.
    //RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
  }

  Serial.print("Inicializando tarjeta SD...");

  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("No se pudo inicializar la SD, o no está conectada");
    //while (1);
  }
  else {
    Serial.println("SD inicializada!");
  }
}

void loop() {
  String Imprimir = ""; // Cadena vacía
  float Value = analogRead(0);
  float voltage = ((Value * 5) / 1023);

  Imprimir += String(voltaje);
  float v_real = (((Value * 5) / 1023)*2.9)/2;// En v

```


Anexo H. Adquisición de datos almacenados en la microSD en un archivo .txt.

2022/7/14 14:30:21 Voltaje A0: 3.38 Voltaje Real: 9.79 Corriente: 0.04 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:22 Voltaje A0: 4.06 Voltaje Real: 11.76 Corriente: 0.05 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:23 Voltaje A0: 0.63 Voltaje Real: 1.81 Corriente: 0.01 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:24 Voltaje A0: 0.70 Voltaje Real: 2.04 Corriente: 0.01 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:26 Voltaje A0: 0.84 Voltaje Real: 2.42 Corriente: 0.01 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:27 Voltaje A0: 0.74 Voltaje Real: 2.15 Corriente: 0.01 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:28 Voltaje A0: 0.69 Voltaje Real: 2.00 Corriente: 0.01 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:29 Voltaje A0: 0.71 Voltaje Real: 2.06 Corriente: 0.01 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:30 Voltaje A0: 1.65 Voltaje Real: 4.78 Corriente: 0.02 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:31 Voltaje A0: 3.95 Voltaje Real: 11.47 Corriente: 0.05 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:32 Voltaje A0: 0.72 Voltaje Real: 2.08 Corriente: 0.01 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:34 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:35 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:36 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:37 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:38 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:39 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:40 Voltaje A0: 0.22 Voltaje Real: 0.62 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:42 Voltaje A0: 3.13 Voltaje Real: 9.09 Corriente: 0.04 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:43 Voltaje A0: 3.69 Voltaje Real: 10.70 Corriente: 0.05 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:44 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:45 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00

2022/7/14 14:30:46 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:47 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:48 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.01 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:49 Voltaje A0: 1.44 Voltaje Real: 4.18 Corriente: 0.02 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:51 Voltaje A0: 3.78 Voltaje Real: 10.96 Corriente: 0.05 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:52 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:53 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:54 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:55 Voltaje A0: 0.01 Voltaje Real: 0.03 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:56 Voltaje A0: 2.06 Voltaje Real: 5.97 Corriente: 0.03 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:57 Voltaje A0: 2.48 Voltaje Real: 7.20 Corriente: 0.03 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:30:59 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:31:0 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:31:1 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:31:2 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:31:3 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:31:4 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:31:5 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:31:7 Voltaje A0: 0.22 Voltaje Real: 0.65 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:31:8 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:31:9 Voltaje A0: 0.25 Voltaje Real: 0.72 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:31:10 Voltaje A0: 0.61 Voltaje Real: 1.77 Corriente: 0.01 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:31:11 Voltaje A0: 0.81 Voltaje Real: 2.35 Corriente: 0.01 Potencia: 0.00
2022/7/14 14:31:12 Voltaje A0: 3.98 Voltaje Real: 11.55 Corriente: 0.05 Potencia: 0.00

Anexo I. Monitor serial de la IDE de Arduino.

```
COM3
Iniciando tarjeta SD...SD inicializada!
DC VOLTIMETRO
Voltaje entrada A0: 4.56
Voltaje 'Real (pila)': 6.61
-----
2022/9/7 23:55:49 Voltaje A0: 4.56 Voltaje Real: 6.61 Corriente: 0.06 Potencia: 0.36
DC VOLTIMETRO
Voltaje entrada A0: 4.56
Voltaje 'Real (pila)': 6.61
-----
2022/9/7 23:55:51 Voltaje A0: 4.56 Voltaje Real: 6.61 Corriente: 0.06 Potencia: 0.36
DC VOLTIMETRO
Voltaje entrada A0: 5.00
Voltaje 'Real (pila)': 7.25
-----
2022/9/7 23:55:52 Voltaje A0: 5.00 Voltaje Real: 7.25 Corriente: 0.06 Potencia: 0.44
DC VOLTIMETRO
Voltaje entrada A0: 0.00
Voltaje 'Real (pila)': 0.01
-----
2022/9/7 23:55:53 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.01 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
DC VOLTIMETRO
Voltaje entrada A0: 0.00
Voltaje 'Real (pila)': 0.00
-----
2022/9/7 23:55:54 Voltaje A0: 0.00 Voltaje Real: 0.00 Corriente: 0.00 Potencia: 0.00
DC VOLTIMETRO
Voltaje entrada A0: 0.59
Voltaje 'Real (pila)': 0.86
-----
2022/9/7 23:55:55 Voltaje A0: 0.59 Voltaje Real: 0.86 Corriente: 0.01 Potencia: 0.01
DC VOLTIMETRO
Voltaje entrada A0: 0.87
Voltaje 'Real (pila)': 1.25
-----
2022/9/7 23:55:56 Voltaje A0: 0.87 Voltaje Real: 1.25 Corriente: 0.01 Potencia: 0.01
DC VOLTIMETRO
Voltaje entrada A0: 1.60
Voltaje 'Real (pila)': 2.32
-----
2022/9/7 23:55:57 Voltaje A0: 1.60 Voltaje Real: 2.32 Corriente: 0.02 Potencia: 0.04
DC VOLTIMETRO
Voltaje entrada A0: 2.26
Voltaje 'Real (pila)': 3.28
```

Anexo J. Vehículos livianos utilizados para las pruebas experimentales.

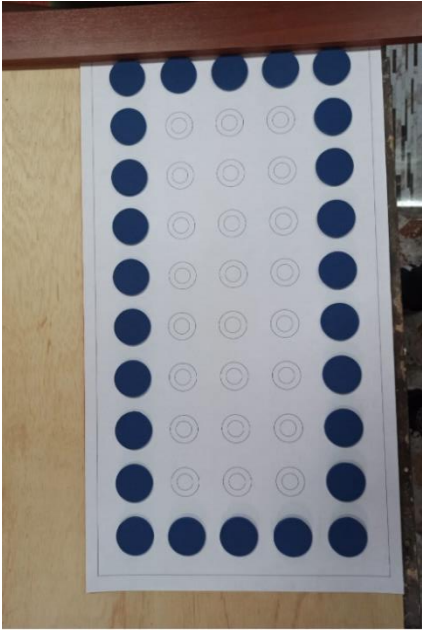


**Anexo K.
armado de
inferior,
cerámica
en**



**Proceso de
la capa
superior y la
Piezoeléctrica**

funcionamiento.



Document Information

Analyzed document	TRABAJO DE GRADO-Chandi_Israel_Capitulo1_Capitulo2_Capitulo3.pdf (D155154200)
Submitted	2023-01-08 19:47:00
Submitted by	
Submitter email	jeguerra@utn.edu.ec
Similarity	5%
Analysis address	jeguerra.utn@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	TRABAJO TITULACIÓN GUIDO PIEZOELECTRICO FINAL.docx Document TRABAJO TITULACIÓN GUIDO PIEZOELECTRICO FINAL.docx (D53424138)	 20
SA	CAPITULO2.docx Document CAPITULO2.docx (D12994227)	 1
SA	Proyecto Caldez-Jacome.pdf Document Proyecto Caldez-Jacome.pdf (D143509845)	 4
SA	TRABAJO TITULACIÓN GUIDO PIEZOELECTRICO.docx Document TRABAJO TITULACIÓN GUIDO PIEZOELECTRICO.docx (D53066093)	 2
SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE / Trabajo de Titulación Guatemal Wilson (1).pdf Document Trabajo de Titulación Guatemal Wilson (1).pdf (D146942886) Submitted by: jeguerra@utn.edu.ec Receiver: jeguerra.utn@analysis.arkund.com	 1
SA	avance_proyectoRabeloA.docx Document avance_proyectoRabeloA.docx (D132882650)	 1
SA	PROYECTO INTEGRADOR DE SABERES (REGENERACION DE LA VIA DE ACCESO A LA UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL).docx Document PROYECTO INTEGRADOR DE SABERES (REGENERACION DE LA VIA DE ACCESO A LA UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL).docx (D41102011)	 1

Entire Document

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE Facultad De Ingeniería En Ciencias Aplicadas Carrera De Ingeniería En Mantenimiento Eléctrico DESARROLLO DE CERÁMICA PIEZOELÉCTRICA PARA RECOLECCIÓN DE ENERGÍA DEL TRÁNSITO PEATONAL Y VEHICULAR EN CRUCE CEBRA Trabajo de grado presentado ante la Ilustre Universidad Técnica del Norte
previo a la obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico AUTOR: Chandi Andrango Segundo Israel DIRECTOR: Ing. Julio Guerra MSc. Ibarra – Ecuador 2022