



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
EXTENSIÓN LA MANÁ

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS-CIYA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA
LIMPIA POR MEDIO DE SENSORES PIEZOELECTRICOS PARA LA
ILUMINACIÓN DE LA ENTRADA DEL BLOQUE B DE LA UTC EXTENSIÓN
LA MANÁ”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del título de Ingenieros
Electromecánicos

AUTORES:

Caldaz Sarmiento Marcos Eduardo

Jácome Herrera José Luis

TUTOR:

Ing. M.Sc. Paredes Anchatipán Alex Darwin

LA MANÁ-ECUADOR

AGOSTO-2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Marcos Eduardo Caldez Sarmiento y José Luis Jácome Herrera, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA POR MEDIO DE SENSORES PIEZOELÉCTRICOS PARA LA ILUMINACIÓN DE LA ENTRADA DEL BLOQUE B DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANA”, siendo Ing. MSc. Paredes Anchatipán Alex Darwin, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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



Caldaz Sarmiento Marcos Eduardo
C.I:0942094137



Jácome Herrera José Luis
C.I:0550539381

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutora del trabajo de investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA POR MEDIO DE SENSORES PIEZOELÉCTRICOS PARA LA ILUMINACIÓN DE LA ENTRADA DEL BLOQUE B DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ” de Caldez Sarmiento Marcos Eduardo y Jácome Herrera José Luis de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, agosto 2022



Ing. M.Sc. Paredes Anchatipán Alex Darwin

C.I: 050361493-5

TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA por cuanto los postulantes Caldez Sarmiento Marcos Eduardo y Jácome Herrera José Luis con el título de Proyecto de Investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA POR MEDIO DE SENSORES PIEZOELÉCTRICOS PARA LA ILUMINACIÓN DE LA ENTRADA DEL BLOQUE B DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del proyecto.

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

La Maná, agosto 2022

Para constancia firman:


M.Sc. Vásquez Carrera Paco Jeovanni
CI:0501758767
LECTOR 1 (PRESIDENTE)


M.Sc. Corrales Bonilla Johnatan Israel
CI:0503145518
LECTOR 2 (MIEMBRO)


M.Sc. Alcocer Salazar Francisco Saúl
CI:0503066797
LECTOR 3 (SECRETARIO)

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primeramente a Dios por darme la vida, para poder culminar esta etapa de mi vida estudiantil, a mis padres por forjarme con principios y valores por estar apoyándome en todo momento incondicionalmente. A mi familia en general por el apoyo constante y por creer en mí para culminar esta etapa de mi vida

Marco

En primer lugar, agradezco a Dios todo poderoso por darme las fuerzas necesarias en los momentos que más lo necesite y permitirme estar siempre a su lado toda mi vida bendiciéndome cada logro. Doy gracias a mi madre por darme la vida, por ser una gran mujer que estuvo siempre conmigo apoyándome en mis mestas y a mi padre por sus buenos consejos que me han servido para ser una gran persona con ética y moral También agradezco a la universidad técnica de Cotopaxi extensión la maná por brindarme su acogida en la cual pude fortalecer mis conocimientos

José

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a mi Dios por acompañarme a cada lugar que voy cuidándome y dándome fuerza para seguir en adelante A mis padres quienes a lo largo de la trayectoria han velado por mi bienestar y educación siendo el pilar en todo momento, gracias a su esfuerzo me dieron una oportunidad para tener una carrera profesional de superación, brindándome toda la paciencia y amor puedo desear, gracias por ser el motor de mi vida, por creer en mi

Marco

Le quiero dedicar esta tesis a DIOS a mis padres, hermano y pareja sentimental, por ser la motivación de mí día a día para poder ser la mejor persona.

José

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS – CIYA

TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA POR MEDIO DE SENSORES PIEZOELÉCTRICOS PARA LA ILUMINACIÓN DE LA ENTRADA DEL BLOQUE B DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ”

Autores:

Caldaz Sarmiento Marcos Eduardo

Jácome Herrera José Luis

RESUMEN

La generación de energía eléctrica mediante fuentes alternativas ha ganado terreno en la actualidad, se pretende que a futuro los procesos de generación de energía eléctrica sean amigables con el medio ambiente y el entorno dejando atrás a los actuales como los hidroeléctricos, termoeléctricos, nucleares, entre otros.

El presente proyecto trata sobre el estudio, análisis e implementación de un sistema innovador basado en la producción de energía eléctrica a partir de materiales y sensores piezoeléctricos. El proyecto permite compensar un problema de iluminación en la entrada del Bloque B de la Extensión y a su vez investigar y recopilar información acerca del funcionamiento de la generación de energía por el sistema piezoeléctrico.

Con estos precedentes se procedió a la recolección de información bibliográfica sobre la generación de energía piezoeléctrica, también se analizó la forma en que las pisadas de personas que ingresen o salgan del establecimiento de la universidad se usan para producir energía eléctrica y poder alimentar la iluminación de la parte delantera de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Las pruebas y los resultados nos muestran que el proyecto brinda un beneficio común, una nueva alternativa de generación energética con ahorro de energía, a su vez contribuyendo a la investigación de la Universidad y cuidado de su ecosistema visual y ambiental.

Palabras clave: Sensores piezoeléctricos, fuentes alternativas, ahorro de energía.

ABSTRACT

The energy generation through alternative sources has gained fields today, it is intended that in the future the processes of generating electrical energy are friendly to the environment and the environment, leaving behind the current ones such as hydroelectric, thermoelectric, nuclear, among others.

This project deals with the study, analysis and implementation of an innovative system based on the production of electrical energy from piezoelectric materials and sensors. The project makes it possible to compensate for a lighting problem at the entrance to Block B of the Extension and at the same time investigate and collect information about the operation of the energy generation by the piezoelectric system.

With these precedents, bibliographic information on the generation of piezoelectric energy was collected, the way in which the footsteps of people entering or leaving the university establishment were used to produce electrical energy and power the lighting of the university was also analyzed the front of the Technical University of Cotopaxi.

The tests and results show us that the project provides a common benefit, a new energy generation alternative with energy savings, in turn contributing to the University's research and care for its visual and environmental ecosystem.

Keywords: Piezoelectric sensors, alternative sources, energy saving.

INDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
INDICE GENERAL	ix
INDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE TABLAS	xiv
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	3
4.1. Beneficiarios Directos	3
4.2. Beneficiarios Indirectos	3
5. OBJETIVOS.....	4
5.1. Objetivo General.....	4
5.2. Objetivos específicos.....	4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS .5	
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA.....	5
7.1. Glosario de términos.....	5
7.2. Fuerza, Trabajo, Potencia y energía	7
7.2.1. Fuerza	7
7.2.2. Trabajo.....	7
7.2.3. Potencia	8
7.2.4. Potencia eléctrica.....	9
7.2.5. Energía.....	10
7.2.6. Tipos de energía para producir electricidad	10
7.3. Generación de energía amigables con el ambiente.....	12
7.4. Fundamentos de la piezoelectricidad.....	13
7.5. Definición efecto piezoeléctrico	13
7.6. Materiales Piezoeléctricos	14

7.6.1. Materiales Piezoeléctricos naturales.....	15
7.6.2. Materiales Piezoeléctricos artificiales	16
7.7. Transductores piezoeléctricos.....	17
7.7.1. Diseño de transductores piezoeléctricos.....	18
7.7.2. Propiedades de los transductores piezoeléctricos	19
7.7.3. Selección de transductores piezoeléctricos.....	19
7.8. Tipos de conexiones de los piezoeléctricos	20
7.9. Componentes de un sistema de generación piezoeléctrica	22
7.9.1. Generador piezoeléctrico.....	23
7.9.2. Baldosa Piezoeléctrica.....	24
7.10. Circuito regulador de carga	30
7.10.1. Rectificador AC/DC de onda completa	30
7.10.2. Filtro 31	
7.10.3. Convertidor DC/DC.....	32
7.10.4. Almacenamiento de la energía	33
7.11. Aplicaciones del sistema piezoeléctrico	35
7.11.1. Aplicaciones en generación de energía mediante pisadas	36
7.12. Estudio de la pisada humana	37
8. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL	39
8.1. Ubicación del proyecto.....	39
8.2. Caracterización del sistema piezoeléctrico.....	40
8.3. Estimación del sistema de obtención de energía	41
8.3.1. Estimación del tránsito peatonal.....	41
8.4. Determinación de la carga de iluminación	43
8.4.1. Cálculo de flujo luminoso requerido	43
8.4.2. Selección de la lámpara	44
8.4.3. Ubicación de la lámpara	45
8.5. Diseño de la generación de energía del sistema piezoeléctrico.....	46
8.5.1. Elección del material de la baldosa piezoeléctrica	46
8.5.2. Elección del transductor piezoeléctrico	47
8.5.3. Diseño de la baldosa piezoeléctrica.....	47
8.5.4. Disposición física del sistema.....	49
8.5.5. Cálculo de la energía generada por el conjunto de baldosas piezoeléctricas	50
8.6. Diseño del almacenamiento de energía	52
8.6.1. Selección de la capacidad y tipo de batería	52

8.6.2. Determinación del tiempo de carga de la batería	53
8.6.3. Determinación del tiempo de descarga.....	53
8.1. Diseño del regulador de tensión	54
8.2. Implementación del sistema piezoeléctrico	55
8.2.1. Armado de la baldosa piezoeléctrica	55
8.2.2. Configuración del área de generación piezoeléctrica	57
9. ANALISIS DE LOS RESULTADOS	57
9.1. Análisis de las características de la baldosa piezoeléctrica	57
9.2. Análisis de la generación eléctrica de una baldosa.....	59
9.3. Análisis de la generación del conjunto de baldosas interconectadas.....	61
9.4. Análisis real de la producción de energía	63
9.5. Análisis del consumo de energía	64
9.6. Análisis del sistema de carga y descarga de baterías.....	65
10. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)	66
10.1. Impacto Técnico	66
10.2. Impacto social.....	66
10.3. Impacto ambiental	66
10.4. Impacto económico.....	67
11. PRESUPUESTO DEL PROYECTO	67
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
12.1. CONCLUSIONES	68
12.2. RECOMENDACIONES	68
13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	69
14. ANEXOS	73

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de bombilla eléctrica de 60W alimentada con 220V AC.	9
Figura 2. Distintas formas de generar energía	11
Figura 3. Identificativo de Energy Harvesting	12
Figura 4. Relación estímulo-respuesta de los materiales inteligentes	13
Figura 5. Esquema de funcionamiento del efecto piezoeléctrico	14
Figura 6. Tipos de Materiales piezoeléctricos	15
Figura 7. Estructura cristalina del Cuarzo (SiO ₂)	15
Figura 8. Polarización de un material piezoeléctrico a) directa b) inverso	17
Figura 9. Principio de un sensor piezoeléctrico.....	18
Figura 10. Ejemplo de sensores piezoeléctricos, PVDF (Izquierda) y PZT (Derecha).....	19
Figura 11. Pilas de piezoeléctricos, (a) conexión en serie, (b) conexión en paralelo.....	20
Figura 12. Ejemplo de agrupamiento de celdas piezoeléctricas en serie y paralelo.....	21
Figura 13. Comparación gráfica de voltaje y corriente de transductores en serie-paralelo.....	21
Figura 14. Gráfica de voltaje y corriente de transductores en conexión mixta	22
Figura 15. Diseño de un sistema de almacenamiento de energía piezoeléctrico.....	22
Figura 16. Respuesta de un material piezoeléctrico a su compresión o vibración	23
Figura 17. Circuito convertidor para carga de baterías a partir del efecto piezoeléctrico	24
Figura 18. Diseño de una baldosa con transductores piezoeléctricos.....	24
Figura 19. Eco-Baldosa Piezoeléctrica Pavegen	26
Figura 20. Baldosa Powerfloor – POWERLeap.....	27
Figura 21. Aplicación de Generadores piezoeléctricos Innowattech	28
Figura 22. Baldosa generadora de energía (SEF)	28
Figura 23. Suelos de pavimento Waynergy People	29
Figura 24. Esquema de un rectificador AC/DC onda completa	31
Figura 25. Onda rectificada del puente de diodos	31
Figura 26. Onda filtrada del rectificada del puente de diodos.....	31
Figura 27. Diagrama de un convertidor DC/DC.....	32
Figura 28. Tipos de baterías usadas en la actualidad.....	33
Figura 29. Relación de potencia vs Peso en una baldosa piezoeléctrica	38
Figura 30. Fachada exterior del Bloque B Extensión La Maná.....	39
Figura 31. Esquema del sistema piezoeléctrico a implementarse	40
Figura 32. Comparación de estudiante, docentes y visitantes por día entrada a Bloque B	42

Figura 33. Lámpara selecciona para proyección de iluminación de la entrada Bloque B.....	44
Figura 34. Ubicación de la lámpara de bajo consumo.....	46
Figura 35. Transductor piezoeléctrico PZT a usarse	47
Figura 36. Diseño baldosa piezoeléctrica forma rectangular con 21 sensores piezoeléctricos	48
Figura 37. Disposición y cantidad de celdas en una baldosa piezoeléctrica	49
Figura 38. Disposición física del lugar y dimensión para colocación del sistema	50
Figura 39. Estimación de las pisadas en la plataforma piezoeléctrica.....	51
Figura 40. Batería para almacenamiento de carga sistema piezoeléctrico	53
Figura 41. Circuito de captación regulador de tensión. Salida 12 Vdc	55
Figura 42. Armado y prueba de cubierta exterior de baldosa piezoeléctrica	56
Figura 43. Armado y medición de voltaje generado en baldosa 30 x 60cm.....	56
Figura 44. Configuración de la colocación de las baldosas piezoeléctricas	57
Figura 45. Baldosa piezoeléctrica y transductores implementados.....	58
Figura 46. Disposición física y conexionado de sensores piezoeléctricos	58
Figura 47. Medición del voltaje de salida al aplicar una fuerza con el pie	59
Figura 48. Medición del voltaje de salida al aplicar una fuerza con el pie	60
Figura 49. Voltaje de voltaje obtenido de una baldosa piezoeléctrica	60
Figura 50. Gráfica de voltaje de la plataforma piezoeléctrica.....	62
Figura 51. Gráfica de corriente de la plataforma piezoeléctrica.....	62
Figura 52. Voltaje de voltaje obtenido de todo el conjunto piezoeléctrica	62
Figura 53. Gráfica de la carga de la batería de 2,5 Ah	65
Figura 54. Gráfica de la descarga de la batería de 2,5 Ah.....	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas en relación con los objetivos.....	5
Tabla 2. Resumen de los materiales piezoeléctricos por su naturaleza	17
Tabla 3. Especificaciones técnicas y costos de los dispositivos piezoeléctricos.....	29
Tabla 4. Tránsito de estudiante, docentes y visitantes en puerta de entrada a Bloque B	41
Tabla 5. Iluminación en base al espacio.....	43
Tabla 6. Especificaciones técnicas de la lámpara.....	45
Tabla 7. Características principales de transductor piezoeléctrico PZT 3B35	47
Tabla 8. Tensiones piezoeléctrico – fuerza del pie.....	61
Tabla 9. Valores de producción de energía en plataforma	64
Tabla 10. Presupuesto de la implementación del proyecto	67

1. INFORMACIÓN GENERAL.

Título del Proyecto:

“Implementación de un sistema de generación de energía limpia por medio de sensores piezoeléctricos para la iluminación de la entrada del bloque B de la UTC Extensión la Maná”

Fecha de inicio:	Marzo del 2022
Fecha de finalización:	Septiembre del 2022
Lugar de ejecución:	Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná
Unidad académica que auspicia:	Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas CIYA
Carrera que auspicia:	Ingeniería Electromecánica
Proyecto de investigación vinculado:	N/A
Equipo de trabajo:	Ing. M.Sc. Paredes Anchatipán Alex Darwin Sr. Caldez Sarmiento Marcos Eduardo Sr. Jacome Herrera José Luis
Área de conocimiento:	Ingeniería, Industria y Construcción
Línea de investigación:	Energías renovables
Sub líneas de investigación de la carrera:	Energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El uso de energías no renovables basado en combustibles fósiles en la generación de energía a nivel nacional y mundial incurre en una afectación al medio ambiente, cambios climáticos y contaminación de suelos, aire y agua.

De igual manera la energía eléctrica que llega a nuestro hogar proviene de fuentes tanto alternativas como convencionales, y eso repercute en adquirir energía que afecta al ecosistema. La energía eléctrica que adquirimos la empleamos para hacer funcionar nuestras cargas como equipos eléctricos, electrónicos, cargas especiales y la eliminación, es decir dependemos totalmente de la energía comprada al operador de la red pública que incluso puede suspender su entrega por fallas técnicas en su sistema y líneas de transporte; y ante la necesidad de al menos la iluminación se opta por usar sistema de generación de respaldo que usa gasolina o Diesel.

Ante este problema, que también se presenta en la Universidad técnica de Cotopaxi, se necesita tener los sistemas de iluminación siempre activos y con mayor prioridad los de emergencia y los de entrada de las instalaciones. El impulso por buscar una fuente de generación de energía renovable, confiable.

El presente proyecto pretende cumplir con dotar de iluminación al área de la entrada al Bloque B y reducir el problema mencionado junto con un ahorro y limitación de consumo de energía de la red pública.

3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la actualidad, algunos métodos de energía eléctrica son nocivos para el entorno ambiental, produciendo energía a partir de fuentes de energía no renovable en base a combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas natural. Los países en vías de desarrollo presentan mayor dependencia, por lo que existe la necesidad de abordar y desarrollar medios alternos de generación de energía eléctrica, que sea limpia, sustentable e innovadora. Capaz de satisfacer la demanda y que aproveche condiciones del entorno.

Las formas de energía limpias o también llamadas energías alternativas verdes tienen en cuenta a las fuentes renovables como la solar, eólica, biomasa, biogás, geotérmica y pequeños

aprovechamientos eléctricos, hacen uso de algunas interacciones que se producen en la naturaleza para aprovecharlas y transformarlas como es el caso de la tecnología piezoeléctrica.

La tecnología piezoeléctrica como fuente de energía, la cual permite obtener energía eléctrica de un elemento piezocerámico y poder almacenarla y ser usada para energizar pequeñas cargas eléctricas es una forma de energía innovadora que es requerida ser estudiada, analizada y puesta en funcionamiento.

Por los antecedentes teóricos y prácticos en la fabricación de baldosas que producen electricidad en nuestra Universidad, nos proponemos implementar un sistema conjunto, el cual se encargue de la recolección y generación de energía de las pisadas de personas que ingresen o salgan del establecimiento de la universidad para producir energía eléctrica para alimentar la iluminación de la parte delantera de la Universidad Técnica de Cotopaxi

La implementación realizada brinda un beneficio común, una nueva alternativa de generación energética con ahorro de energía, a su vez contribuyendo a la investigación de la Universidad y cuidado de su ecosistema visual y ambiental.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1. Beneficiarios Directos

Los beneficiarios directos del proyecto son los estudiantes de la carrera de Ingeniería electromecánica de la UTC del bloque B extensión la Maná y el Grupo de Investigación de la carrera de Ingeniería Electromecánica.

4.2. Beneficiarios Indirectos

Los beneficiarios indirectos los estudiantes docentes, funcionarios y personas que ingresen a la Universidad técnica de Cotopaxi en el bloque B.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

- Implementar un sistema de generación de energía limpia por medio de sensores piezoeléctricos para la iluminación de la entrada del bloque B de la UTC Extensión la Maná.

5.2. Objetivos específicos

- Investigar fuentes bibliográficas acerca de la generación de energía con tecnología piezoeléctrica y sus aplicaciones.
- Seleccionar el sistema de generación piezoeléctrico y mediante el diseño proponer los componentes a utilizar en el sistema de generación de energía para la iluminación.
- Poner en funcionamiento el sistema de generación piezoeléctrico de acuerdo al diseño seleccionado.
- Realizar pruebas de desempeño al sistema de generación piezoeléctrica.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas en relación con los objetivos

Objetivos	Actividades	Resultados de las actividades	Descripción (técnicas e instrumentos)
Investigar fuentes bibliográficas acerca de la generación de energía con tecnología piezoeléctrica y sus aplicaciones.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica • Levantamiento de información técnica 	<ul style="list-style-type: none"> • Marco teórico de la tecnología piezoeléctrica • Documentos técnicos y Datasheet 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica • Observaciones y entrevista
Seleccionar el sistema de generación de energía piezoeléctrico y mediante el diseño proponer los componentes a utilizar en el sistema de generación de energía para la iluminación.	<ul style="list-style-type: none"> • Realización de los cálculos de generación piezoeléctrica • Diseño de esquema de componentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Detalle de los componentes seleccionados • Esquema de funcionamiento del sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica • Autocad para elaboración de esquemas
Poner en funcionamiento el sistema de generación piezoeléctrico de acuerdo al diseño seleccionado.	<ul style="list-style-type: none"> • Armado e implementación del sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema instalado • Interconexión del sistema a la iluminación 	<ul style="list-style-type: none"> • Empalmes, lectura de esquemas, equipo eléctrico de maniobra
Realizar pruebas de desempeño al sistema de generación piezoeléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas de fijación de componentes • Mediciones eléctricas de energía 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema correctamente acoplado al piso • Mediciones de carga, consumo e iluminación 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayos de pisadas, mediciones de corriente, voltaje con voltímetro y amperímetro.

Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

7.1. Glosario de términos

Actuador: Un dispositivo que puede producir fuerza o movimiento (desplazamiento).

Campo eléctrico: es un campo físico representado por un modelo que describe la interacción entre cuerpos y sistemas con propiedades de naturaleza eléctrica.

Cerámica: Como material inorgánico, no metálico, es un buen aislante eléctrico y también tiene las características de un punto de fusión y resistencia eléctrica muy altos. Asimismo, su módulo de Young (la pendiente en el punto de fluencia formado durante la prueba de tracción) también es alto, y también exhiben falla frágil.

Ciclosilicatos: Son una división de minerales de la clase de los silicatos que consisten en átomos de silicio y oxígeno unidos por enlaces covalentes.

Efecto piezoeléctrico: Fenómeno físico que presentan algunos cristales debido a la diferencia de potencial eléctrico (diferencia de potencial) que se produce entre determinadas caras del cristal cuando se deforma mecánicamente.

Deformación: Un cambio en el tamaño o la forma de un objeto debido a la tensión interna causada por una o más fuerzas que actúan sobre él o debido a la expansión térmica.

Dipolo eléctrico: Sistema formado por dos cargas de igual magnitud y signo opuesto situadas una cerca de la otra.

Ferroelectricidad: Propiedad de algunos cristales, de tener polarización eléctrica espontánea, permanente y reversible bajo la acción de un campo eléctrico externo.

HVPZT: Abreviatura de High Voltage PZT. Material piezoeléctrico: Un material que cambia de dimensión cuando se le aplica un potencial eléctrico y genera una carga eléctrica cuando está bajo presión.

Monocristalino: Un material en el que la red es continua y no interrumpida por límites de grano hasta los bordes de la muestra. Dado que los bordes pueden tener efectos importantes en las propiedades físicas de los materiales, los monocristales son de interés tanto para la industria como para la investigación académica.

Dieléctrico: La propiedad de muchos materiales polares cuando se someten a un campo eléctrico. A diferencia de la ferroelectricidad, este fenómeno ocurre incluso si no existen dipolos permanentes en el material.

Polarización: El proceso por el cual un cristal adquiere propiedades piezoeléctricas, es decir, celdas unitarias alineadas en un material piezoeléctrico.

Polarización eléctrica: La polarización eléctrica es un campo vectorial que representa la densidad del momento del dipolo eléctrico (la carga de la carga es igual a la distancia entre las cargas del dipolo) ya sea permanente o inducida en un material dieléctrico (poco conductor).

Polarización espontánea: Se define como la amplitud de polarización en un solo dominio ferroeléctrico en ausencia de un campo eléctrico externo.

Polímeros: Se definen como macromoléculas formadas por una o más unidades químicas (monómeros) que se repiten a lo largo de una cadena.

PZT: Abreviatura de titanato de circonato de plomo. Material cerámico policristalino con propiedades piezoeléctricas.

Temperatura de Curie: La temperatura a la cual la estructura cristalina de un material sufre una transición de fase, dejando de exhibir propiedades piezoeléctricas.

Tensor: Es un tipo de entidad algebraica de múltiples componentes que generaliza los conceptos de escalares, vectores y matrices de una manera que es independiente de cualquier sistema de coordenadas elegido.

7.2. Fuerza, Trabajo, Potencia y energía

7.2.1. Fuerza

La fuerza se expresa como una acción externa sobre un cuerpo que provoca su aceleración respecto a un sistema de referencia, en un sistema en el cual que no actúan otras fuerzas, se puede determinar que la dirección de la fuerza coincide con la dirección de la aceleración, la ecuación se indica en la Ecuación 1.

$$\sum F = ma \qquad \text{Ecuación 1}$$

7.2.2. Trabajo

El trabajo se origina a partir de una fuerza que actúa sobre un objeto el cual tiene un movimiento a lo largo de una distancia y hay presencia de una componente de la fuerza a lo largo de la línea

de movimiento. Si la fuerza es constante, en sola una dimensión, el trabajo efectuado es igual a la fuerza multiplicada por la distancia. El trabajo W realizado por una fuerza constante F cuyo punto de aplicación se traslada una distancia Δx se define por medio de la Ecuación 2.

$$W = F \Delta x = F \cos \theta \Delta x \quad \text{Ecuación 2}$$

En donde θ es el ángulo entre las direcciones de F y Δx es el desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza.

El trabajo es una magnitud escalar que es positiva si Δx y F son de signos iguales y es negativa si tienen signos opuestos. Las referencias del trabajo son la expresión de una fuerza por una distancia, su unidad en el Sistema Internacional es el Julio (J), cuyas unidades se descomponen en un newton por un metro como indica la Ecuación 3.

$$1 J = 1 N m \quad \text{Ecuación 3}$$

7.2.3. Potencia

La potencia P suministrada por una fuerza es el trabajo por unidad de tiempo que realiza dicha fuerza. Si se toma una partícula con velocidad instantánea v , en un intervalo corto de tiempo δt , la partícula tiende a desplazarse como indica la ecuación $\delta s = v \delta t$. El trabajo realizado por una fuerza F que actúa sobre la partícula durante este intervalo de tiempo es:

$$\partial W = F \partial s = F v \partial t \quad \text{Ecuación 4}$$

La potencia suministrada por la partícula que reemplazando los valores de la Ecuación 4, se define por medio de la Ecuación 5

$$P = \partial W / \partial t = F v \quad \text{Ecuación 5}$$

La unidad del Sistema Internacional de potencia es el vatio (W) cuya composición es en base a las unidades de un Julio por segundo como indica la Ecuación 6.

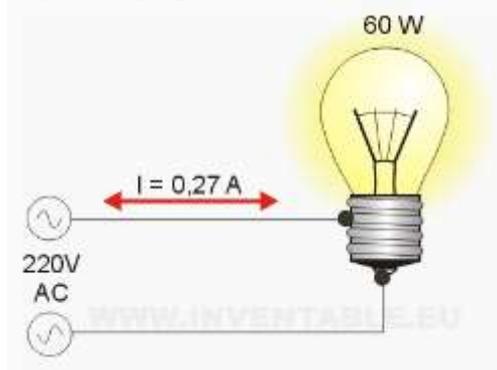
$$1 W = 1 \frac{J}{s} \quad \text{Ecuación 6}$$

7.2.4. Potencia eléctrica

La potencia eléctrica es la razón o proporción en la cual la energía eléctrica se transfiriere hacia un elemento en un circuito eléctrico; otro concepto que indica su significado es como la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado. La unidad en el Sistema Internacional es el vatio o watt (W).

Cuando una corriente eléctrica fluye en cualquier circuito, puede transferir energía al hacer un trabajo mecánico o termodinámico. Los dispositivos convierten la energía eléctrica de muchas maneras útiles, como calor, luz (lámpara incandescente), movimiento (motor eléctrico), sonido (altavoz) o procesos químicos. La electricidad se puede producir mecánica o químicamente por la generación de energía eléctrica, o también por la transformación de la luz en las células fotoeléctricas como se muestra en el ejemplo de la Figura 1. Por último, se puede almacenar químicamente en baterías.

Figura 1. Ejemplo de bombilla eléctrica de 60W alimentada con 220V AC.



Fuente: (Ley de Ohm - Inventable, 2021)

La potencia eléctrica desarrollada en un cierto instante por un dispositivo de dos terminales, es el producto de la diferencia de potencial entre dichos terminales y la intensidad de corriente que pasa a través del dispositivo. Por esta razón la potencia es proporcional a la corriente y a la tensión. Esto es:

$$P = \frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial W}{\partial q} * \frac{\partial q}{\partial t} = V * I \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde V es el voltaje e I es la corriente.

La fórmula de la potencia no tiene cuenta de la resistencia, pero gracias a la Ley de Ohm, podemos reemplazar los multiplicandos por sus equivalentes "resistivos". De esta forma logramos obtener fórmulas de potencia que incluyen la resistencia.

$$P = V * \left(\frac{V}{R}\right) = \frac{V^2}{R} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$P = (I * R) * I = I^2 R \quad \text{Ecuación 9}$$

7.2.5. Energía

El término energía tiene diversas acepciones y definiciones, relacionadas con la idea de una capacidad para obrar, surgir, transformar o poner en movimiento. En física (específicamente en mecánica), energía se define como la capacidad para realizar un trabajo. Para que se incluya, también a la termodinámica, podemos decir, que la energía es la capacidad de los cuerpos para realizar transformaciones (mediante trabajo o mediante calor) en ellos mismos o en otros cuerpos.

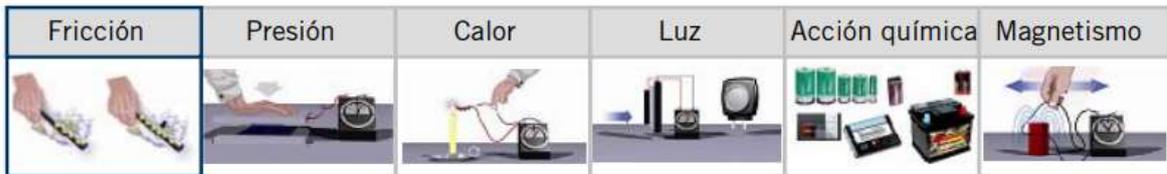
Se expresa que un objeto tiene energía, cuando tiene la habilidad de ejercer una fuerza sobre otro objeto para realizar un trabajo sobre él. También, si realizamos un trabajo sobre algún objeto, este obtiene una cantidad de energía igual al trabajo realizado (Agatón, 2014). La unidad de medida que utilizamos para cuantificar la energía es el julio o joule (J),

Al pagar la factura de consumo de electricidad, se paga la energía consumida, no la potencia. La unidad en la cual se expresa la energía es en kilovatios-hora (KWh) y se puede descomponer en términos de la unidad en Julios como se indica en la Ecuación 10.

$$\begin{aligned} 1kW \cdot h &= (10^3 W)(3600s) \\ &= 3,6 \times 10^6 W \cdot s \\ &= 3,6MJ \end{aligned} \quad \text{Ecuación 10}$$

7.2.6. Tipos de energía para producir electricidad

Para producir electricidad se debe utilizar alguna forma de energía que ponga en movimiento a los electrones. Se pueden emplear seis formas de energía como se aprecia en la Figura 2.

Figura 2. Distintas formas de generar energía

Fuente: (Saucedo y Bosques, 2020)

- **Energía de fricción.** - Se produce al frotar 2 materiales. Uno de los objetos gana electrones y el otro los pierde. El sistema completo no gana ni pierde electrones. Si los objetos que se friccionan son muy conductores, esas cargas se neutralizan rápidamente. Si por el contrario son poco conductores, ambos objetos quedan con carga eléctrica.
- **Energía de presión (piezoelectricidad).** - Se produce sometiendo a presión mecánica cristales llamados piezoeléctricos. El uso más habitual es el de los encendedores electrónicos que, al recibir un golpe, generan una corriente eléctrica de alto voltaje que crea la chispa para el encendido. Este fenómeno también se presenta a la inversa, esto es, se produce una deformación cuando está en presencia de un campo eléctrico. El efecto piezoeléctrico tiende a ser reversible cuando se elimina la fuente de voltaje que los alimenta y el piezoeléctrico tiende a recuperarse.
- **Energía de calor.** - Se produce al calentar una unión de 2 metales disímiles. Por ejemplo, las termocuplas se utilizan como medidas de seguridad, por ejemplo, estufas o calefones. Cuando reciben calor provocan electricidad, y cuando dejan de recibir, hacen cerrar el circuito para evitar pérdidas de gas.
- **Energía de luz.** - Se produce por la incidencia de luz en sustancias fotosensibles (sensibles a la luz). Por ejemplo, La célula fotoeléctrica depende de una batería o de alguna otra fuente de electricidad en su función de determinar variaciones de luz.
- **Energía de acción química.** - Se produce por una reacción química. En las pilas primarias pueden emplearse casi todos los metales, ácidos y sales. Muchos tipos de pilas primarias se usan en laboratorios y con fines especiales.
- **Energía de magnetismo.** - El magnetismo se produce en un conductor cuando éste se mueve a través de un campo magnético o un campo magnético se mueve a través del conductor, de tal manera que el conductor corte las líneas de campo magnético. El método más común para producir la electricidad que se utiliza como corriente eléctrica es el que emplea el magnetismo. Cuando los alambres se desplazan junto a un imán o el imán se desplaza junto a los alambres, se produce electricidad en éstos debido al magnetismo existente en el material magnético.

7.3. Generación de energía amigable con el ambiente

Las técnicas para recolectar y producir energía o captación de energía ambiental latente del entorno se llaman (Energy Harvesting, por sus siglas en inglés). Este proceso en el cual la energía derivada de fuentes externas, tales como energía luminosa, energía térmica o energía mecánica, es convertido a energía eléctrica, que se almacena para poder servir como fuente de energía en la alimentación de sistemas electrónicos de bajo consumo. Su identificativo común a nivel mundial se lo representa en la Figura 3.

Figura 3. Identificativo de Energy Harvesting



Fuente: (Energy Harvesting for IoT & Wireless Applications - Electronics Maker, s/f)

Los sistemas de Energy Harvesting son muy interesantes en entornos donde no existe red de suministro eléctrico. En algunos casos un sistema de alimentación basado en Energy Harvesting puede ser la mejor solución desde un punto de vista de la fiabilidad del sistema.

Dentro del tema de estudio del presente trabajo, la tecnología piezoeléctrica pertenece un grupo de materiales que se denominan materiales inteligentes o multifuncionales (smart materials, por sus siglas en inglés) (Martín et al., 2018). Estos materiales tienen las cualidades de responder a estímulos de distinta naturaleza como, por ejemplo, mecánicas, magnéticas, térmicas o lumínica. En la siguiente Figura 4, se detalla con cada tipo de material, con su propiedad y el tipo de estímulo al que responde y la respuesta.

Figura 4. Relación estímulo-respuesta de los materiales inteligentes

OUTPUT INPUT	DEFORMACIÓN	CARGA ELÉCTRICA	FLUJO MAGNÉTICO	TEMPERATURA	LUZ
TENSIÓN	ELASTICIDAD	PIEZOELECTRICIDAD	MAGNETOSTRICCION		FOTOELASTICIDAD
CAMPO ELÉCTRICO	PIEZOELECTRICIDAD	PERMITIVIDAD			EFFECTO ELECTROOPTICO
CAMPO MAGNÉTICO	MAGNETOSTRICCION	EFFECTO MAGNETOELÉCTRICO	PERMEABILIDAD		MAGNETOÓPTICO
CALOR	EXPANCIÓN TÉRMICA	PIROELECTRICIDAD		CALOR ESPECÍFICO	
LUZ	FOTOSTRICCION	EFFECTO FOTOVOLTAICO			REFRACCIÓN

Fuente: (Martín et al., 2018)

7.4. Fundamentos de la piezoelectricidad

En 1880, Jacques y Pierre Curie descubrieron la piezoelectricidad. Piezoelectricidad es el nombre que se le da al fenómeno que produce electricidad en algunos materiales bajo tensión mecánica. Estos mismos materiales exhiben el efecto opuesto, es decir, representa la deformación de los cuerpos o de sus estructuras, bajo la influencia de un campo eléctrico.

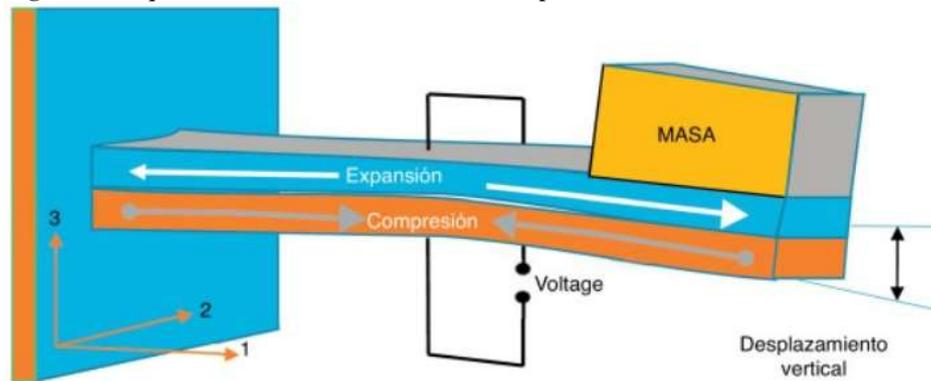
Durante mucho tiempo, el efecto piezoeléctrico siguió siendo una especie de experimento en laboratorios; posteriormente algunos trabajos de investigación sobre materiales como por ejemplo la estructura del vidrio que exhibe propiedades piezoeléctricas.

En 1910, a su vez, el físico alemán Woldemar Voigt publicó "Lehrbuch der Kristallphysik", un manuscrito que describe 20 capas de cristales naturales en exhibición propiedades piezoeléctricas.

7.5. Definición efecto piezoeléctrico

El efecto piezoeléctrico es la cualidad de determinados materiales o sustancias no conductoras (minerales, cerámicos y determinados polímeros) para genera una carga eléctrica que responde a una tensión mecánica aplicada, o la capacidad de presentar cargas eléctricas de signo contrario en las caras cuando se deforman (Gómez Molina, 2018). En la Figura 5 se aprecia el principio y funcionamiento del efecto piezoeléctrico.

Figura 5. Esquema de funcionamiento del efecto piezoeléctrico



Fuente: (Jiménez Martínez et al., 2015)

El efecto piezoeléctrico describe la relación entre una tensión mecánica y un voltaje eléctrico en sólidos. Otro concepto que define al efecto piezoeléctrico es la capacidad de determinados materiales como minerales, cerámicas y polímeros para generar una carga eléctrica en base a una acción mecánica sobre él. También puede los materiales piezoeléctricos se deforman cuando reciben un campo eléctrico o voltaje.

En el efecto piezoeléctrico directo, la compresión y la expansión de un material genera cargas eléctricas opuestas sobre las caras respectivas de la muestra. En el efecto piezoeléctrico inverso, la aplicación de un voltaje a un material piezoeléctrico produce una cierta deformación.

7.6. Materiales Piezoeléctricos

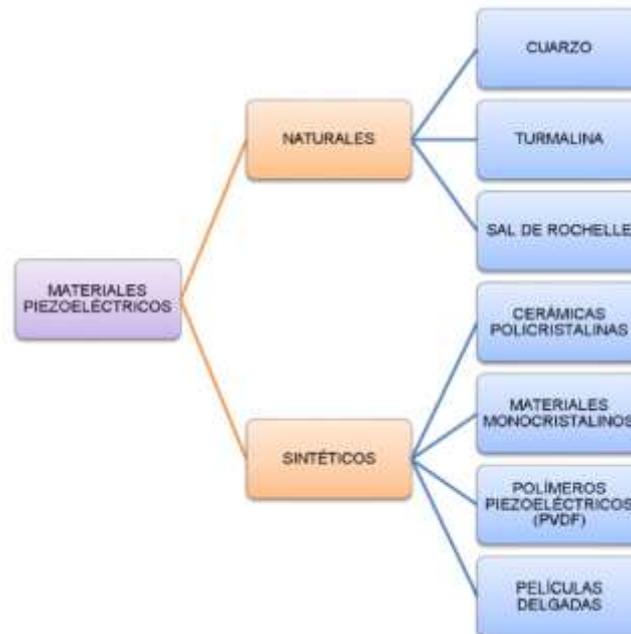
La piezoelectricidad ha sido asociada a muchos tipos de materiales. Sin embargo, en el inicio de sus descubrimientos, la piezoelectricidad fue percibida en minerales naturales, tales como el cuarzo, la turmalina, el topacio y la sal de Rochelle. Todos los demás cristales piezoeléctricos, tales como el dihidrofosfato amónico, el ortofosfato de galio, y los óxidos complejos de galio y lantano, se obtienen en forma artificial (Rashmi et al., 2017).

Los materiales piezoerámicos tienen cualidades de rigidez y dúctiles, esto les faculta para ser utilizados como actuadores para determinadas aplicaciones, su capacidad de elasticidad, les facilita la propiedad de un buen acople mecánico con estructuras. En cambio, los piezopolímeros su mayor uso es como en el área de los sensores porque brindan muy poca maniobrabilidad y mejor capacidad de detectar señales.

Los materiales piezoeléctricos son formas cristalinas naturales o sintéticas que no poseen un centro de simetría. Pueden ser agrupados en 2 grandes vertientes.

- Cristales piezoeléctricos naturales
- Cristales piezoeléctricos sintéticos.

Figura 6. Tipos de Materiales piezoeléctricos



Fuente: (Dávila et al., 2019)

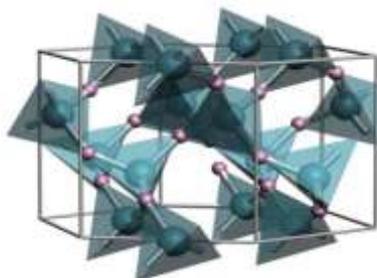
7.6.1. Materiales Piezoeléctricos naturales

Son materiales cristalinos sin centro de simetría y como como su nombre indica, se encuentran en estado salvaje. Los que se presentan un estado muy natural se encuentran al cuarzo, la turmalina y también la sal de Rochelle.

- **Cuarzo**

Pertenece a la clase de los silicatos. Cristal de cuarzo completo tiene un hexágono cortado con extremos puntiagudos. Tres conjuntos de ejes están asociados con un cristal: óptico, eléctrico y mecánico.

Figura 7. Estructura cristalina del Cuarzo (SiO₂)



Fuente: (Götze, 2012)

- **Turmalina**

La turmalina forma parte del grupo de los silicatos/ciclosilicatos. Los cristales de turmalina se polarizan cuando son sometidos a voltajes eléctricos que crean campos magnéticos y también a esfuerzos mecánicos.

- **Sal de Rochelle**

Es una sal soluble en agua y ligeramente soluble en alcohol que posee la propiedad de la doble refracción. Es llamada la sal de Pierre Seignette, quien debido su nombre a un farmacéutico de la Rochelle que fue la persona que la sintetizó en el año de 1675.

7.6.2. Materiales Piezoeléctricos artificiales

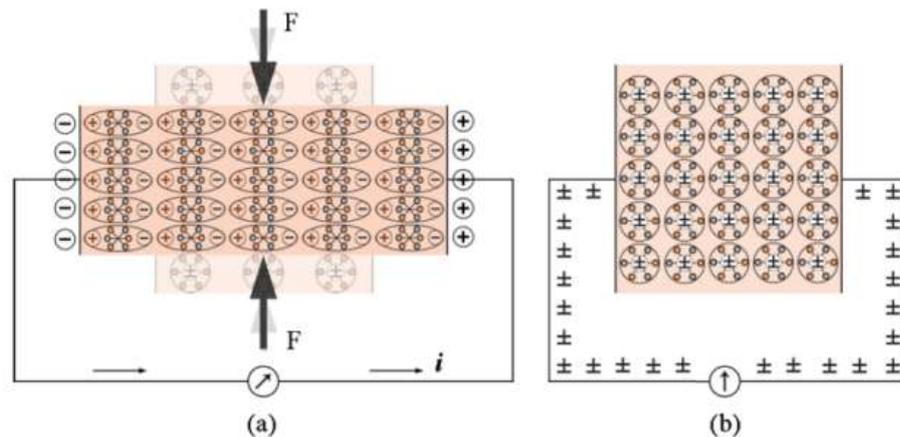
Los materiales piezoeléctricos monocristalinos están siendo reemplazados por los materiales piezoeléctricos artificiales. Los más empleados son los materiales cerámicos policristalinos y los polímeros. Estos nuevos materiales presentan carácter piezoeléctrico una vez que han sido aplicados una polarización artificial.

De los materiales piezoeléctricos sintéticos artificiales, se tiene en cuenta los cerámicos y polímeros, que en condiciones naturales no suelen mostrar propiedades piezoeléctricas; pero que pueden presentar cuando actúan sobre ellos fuentes ajenas. Los ejemplos de estos materiales más comunes son el PZT, ZnO, PVDF, etc.

El material artificial piezoeléctrico más usado es el titanato circonato de plomo (PZT). En tanto que el polímero piezoeléctrico que más fuentes de uso presenta es el el poli (fluoruro de vinilideno) (PVDF).

En la Figura 8 se muestra un sólido piezoeléctrico, donde se han colocado dos electrodos sobre sus superficies para formar un circuito simple. A estos recibir un agente mecánico externo en el material sufren de un cambio en sus propiedades física y se deforman, esto conlleva también a que se produzca en ellos una corriente eléctrica. Cuando no se recibe el estímulo, se vuelve a su estado de reposo.

Figura 8. Polarización de un material piezoeléctrico a) directa b) inverso



Fuente: (Martín et al., 2018)

Se puede apreciar en la Figura 8, cuando se estimula con un agente externo sobre el sólido piezoeléctrico, se genera una polarización en el material y conlleva a la aparición de una corriente en su circuito. Si el material u objeto está en reposo, no existe la polarización eléctrica y no hay corriente.

En la Tabla 2, se muestran un listado acerca de los materiales comunes de cada tipo según (Martín et al., 2018).

Tabla 2. Resumen de los materiales piezoeléctricos por su naturaleza

Naturales	Sintéticos
Cuarzo	PZT (titaniato de plomo con zinconato)
Sal de Rochelle	PVDF (Polímero de fluoruro de polivinilideno)
Turmalina	Titanato de bario
Topacio	Óxido de Zinc
Sacarosa	

Fuente: (Martín et al., 2018)

7.7. Transductores piezoeléctricos

El transductor es el cual produce el efecto electromecánico, el cual transforma la energía mecánica a energía eléctrica. La envolvente mecánica recibe la energía del exterior en forma de agente externo como presión, vibración, o deformación ocasionada. Su función es realizar la captación de energía para poder transmitirla al transductor piezoeléctrico.

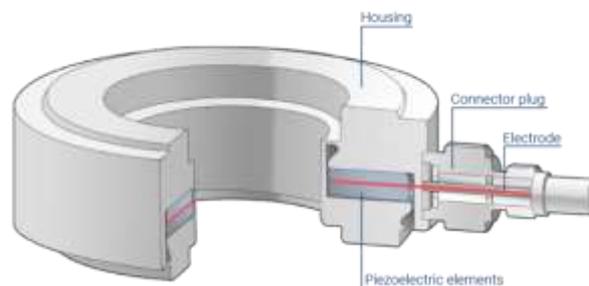
En el interior del conjunto del sensor, se encuentra un cristal piezoeléctrico; que puede ser, por ejemplo, de cuarzo, PZT o PVDF como los más comunes. Los materiales piezoeléctricos producen una carga eléctrica cuando se estimulan con un esfuerzo mecánico. La carga eléctrica que se produce cumple con la cualidad de ser proporcional al esfuerzo mecánico aplicado. Un elemento electrónico como un amplificador convierte la carga en una señal normalizada de voltaje o corriente para ser medida. Se concluye que la tensión eléctrica de salida es proporcional al esfuerzo mecánico.

7.7.1. Diseño de transductores piezoeléctricos

Para convertir un cristal piezoeléctrico en un transductor requiere de ciertos componentes adicionales. "La señal de salida no depende del tamaño del sensor" (HBM Company, 2022).

De manera general, los sensores piezoeléctricos se componen de dos elementos de cristal y, entre ellos llevan un electrodo. El electrodo se encarga de recoger la carga que se forma en la cara más cercana de cada uno de los cristales. Un conductor conecta el electrodo con un amplificador de carga. Por último, una envolvente metálica o plástica recubre los discos de cristal. Esta estructura no solo protege los cristales, sino que también proporciona un segundo punto de contacto con ellos, ya que está conectada al amplificador de carga a través del blindaje del cable como se aprecia en la Figura 9.

Figura 9. Principio de un sensor piezoeléctrico.



Fuente: (HBM Company, 2022)

En un proceso de construcción se recomienda que el contacto entre el electrodo, los cristales y la envolvente sea de un buen diseño y acople. Para esto, los materiales deben ser de alta calidad, con superficies regulares y de una muy buena precisión y con una rugosidad insignificante (HBM Company, 2022).

7.7.2. Propiedades de los transductores piezoeléctricos

De las características principales de los transductores piezoeléctricos es que los intervalos de medición son muy extensos. El mismo sensor puede servir para medir fuerzas muy pequeñas y muy grandes. Los transductores de fuerza piezoeléctricos son muy amplios y presentan una buena disponibilidad en cuanto al tamaño, pudiendo encontrar desde miniaturizado de tan solo unos milímetros de espesor. Su elevada rigidez hace que la deformación que adquieren cuando se someten a un esfuerzo sea insignificante.

7.7.3. Selección de transductores piezoeléctricos

Los piezoeléctricos que se consiguen y que pueden ser empleados para la generación de energía eléctrica son principalmente los PZT y PVDF.

En el trabajo de (Barrera & Mantilla, 2017), se realiza una caracterización de los piezoeléctricos PZT y PVDF mediante la relación entre la capacidad de la generación de energía eléctrica, las dimensiones y las condiciones de temperatura.

En la Figura 10, se muestra dos tipos de sensores, se seleccionaron el sensor de vibración piezoeléctrico LTD-028K por parte de los PVDF y los piezoeléctricos de 35 mm por parte de los PZT.

Figura 10. Ejemplo de sensores piezoeléctricos, PVDF (Izquierda) y PZT (Derecha).



Fuente: (Barrera y Mantilla, 2017)

Se menciona que es importante saber el uso que se le puede dar a los sensores piezoeléctricos para la generación de energía eléctrica. Si se implementa en aplicaciones en la que el dispositivo se verá afectado por grandes fuerzas es recomendable utilizar los PVDF debido a su alta

resistencia a impactos, por contraparte de los PZT, que se puede tener niveles de carga más altos, estos son más delicados.

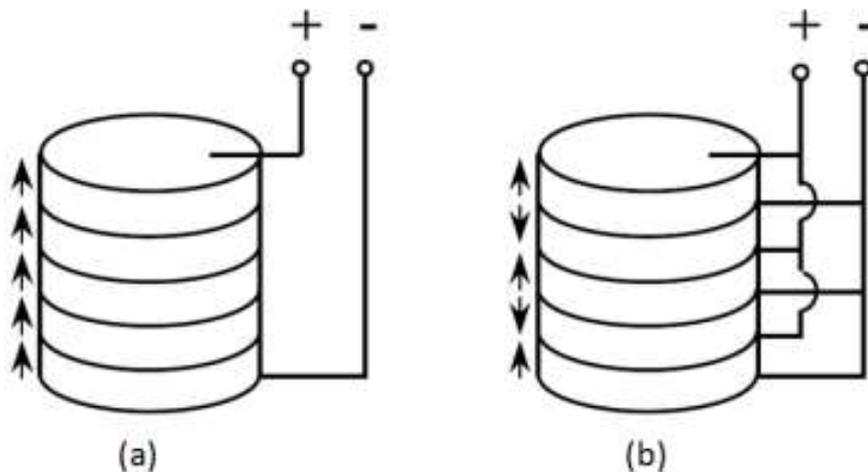
7.8. Tipos de conexiones de los piezoeléctricos

Los materiales piezoeléctricos, se los usa como sensores o actuadores. Cuando se usa como generador, no brinda una cantidad de energía suficiente para alimentar una carga de mediano consumo.

Por ello se recurre a utilizarlos a ellos mismo en distintas formas de conexión, ya que esto determinará la cantidad de energía que será capaces de entregar los transductores. Es importante como se conectan los piezoeléctricos y también la disposición de los mismos en un encapsulado para poder maximizar la energía que reciben.

Para incrementar la energía obtenida por metro cuadrado de un conjunto de transductores, consiste en sobreponer varios transductores en lo que se llama stack, que es una pila de transductores uno sobre otro ya sean estos en serie o en paralelo, llegando estos stacks de ser muchos niveles como se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Pilas de piezoeléctricos, (a) conexión en serie, (b) conexión en paralelo

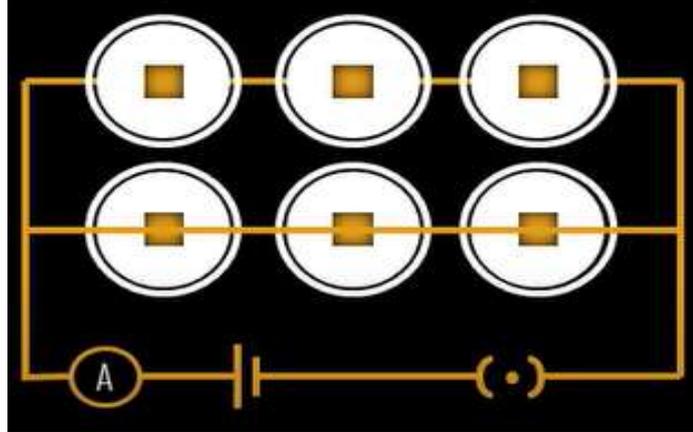


Fuente: (Martín et al., 2018)

Del mismo modo funciona el principio cuando se coloca transductores en serie o en paralelo, lo mismo se aplica para el caso de los stacks. Por lo que, en función de las características que se desean del transductor final, se colocan de una forma u otra.

En la Figura 12 se muestra gráficamente como se ubican los materiales piezoeléctricos en serie o en paralelo, donde se tiene 6 celdas, 3 conectadas en serie y los dos conjuntos en paralelo.

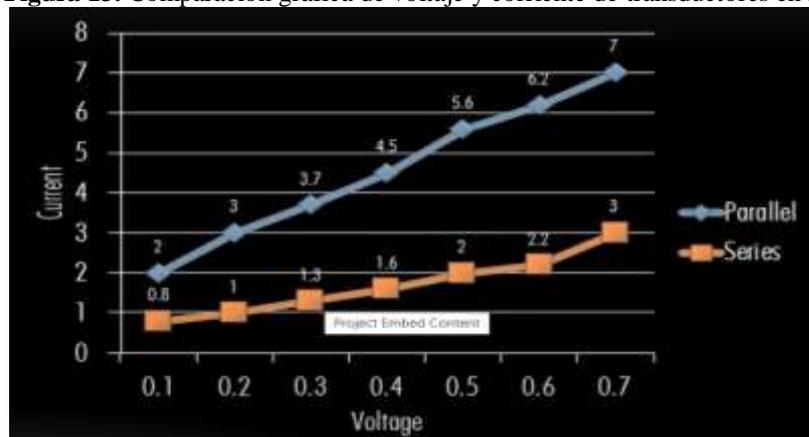
Figura 12. Ejemplo de agrupamiento de celdas piezoeléctricas en serie y paralelo



Fuente: (Tushar, 2016)

La celda o transductor piezoeléctrico al ser un elemento eléctrico tiene una determinada resistencia, por lo que, dependiendo del tipo de celda, inferimos que cuanto mayor es la resistencia interna de una celda, menor es su capacidad de flujo de corriente; por tal razón, conectamos las celdas en paralelo para reducir al mínimo la resistencia total. En cambio, al conectar las celdas en serie el voltaje aumenta, pero la corriente obtenida es baja. En la Figura 13 se aprecia la relación voltaje-corriente del conjunto cuando solo se conecta en serie o solo en paralelo.

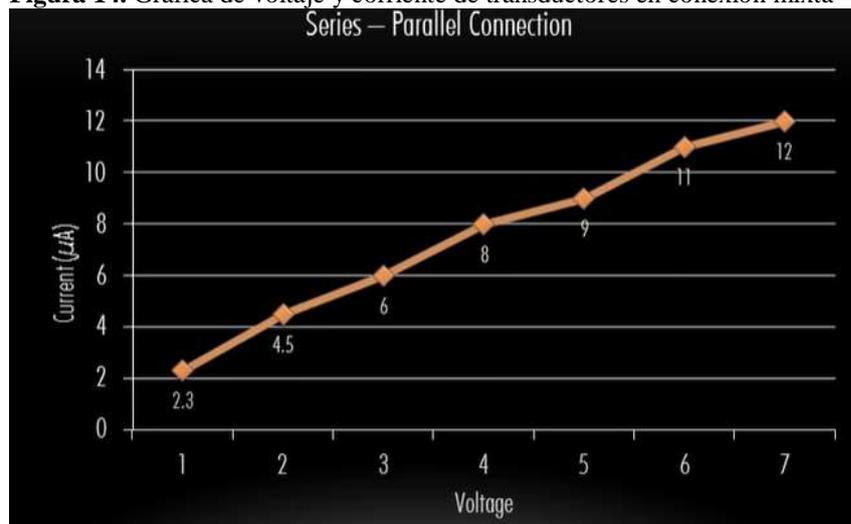
Figura 13. Comparación gráfica de voltaje y corriente de transductores en serie-paralelo



Fuente: (Tushar, 2016)

La solución adecuada para reducir ambos problemas de conexiones serie y paralelo es mediante esquemas mixtos que combina ambos escenarios. La Figura 14 indica una gráfica de voltaje y corriente que se obtendría al aplicar una combinación de celdas mixtas.

Figura 14. Gráfica de voltaje y corriente de transductores en conexión mixta Series – Parallel Connection

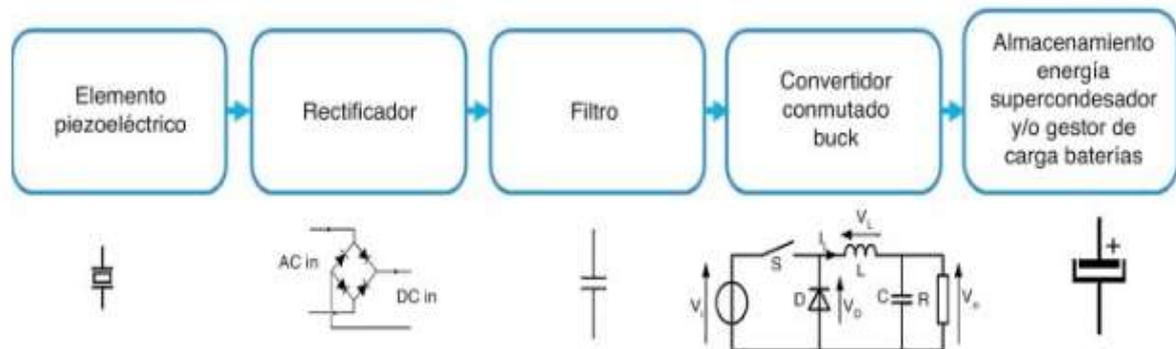


Fuente: (Tushar, 2016)

7.9. Componentes de un sistema de generación piezoeléctrica

El esquema de un sistema de plataformas piezoeléctricas consta de los siguientes partes como se muestra en la Figura 15.

Figura 15. Diseño de un sistema de almacenamiento de energía piezoeléctrico



Fuente: (Jiménez Martínez et al., 2015)

- Elemento generador piezoeléctrico como fuente de suministro de energía, el cual entregará una señal alterna de acuerdo con las deformaciones generadas por cada pisada. Puede estar interconectado en serie o paralelo para formar un conjunto generador piezoeléctrico.
- Circuito de regulador de carga, el cual acondiciona la señal del conjunto para ser apta para la entrega de energía a la carga final y puede consistir en un solo equipo que se compone de una etapa de rectificación AC/DC, filtrado y otra etapa de conversión DC/DC.
- Almacenamiento de carga o energía. – Para lograr un suministro estable de energía a la carga es necesario un sistema de almacenamiento de carga mediante batería.

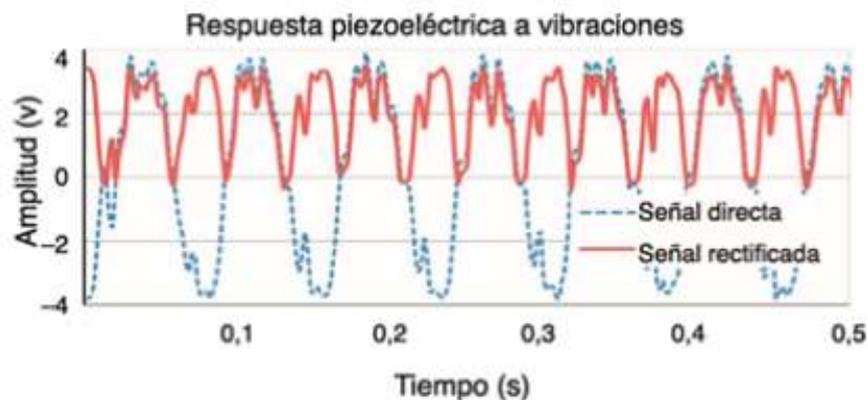
7.9.1. Generador piezoeléctrico

El generador piezoeléctrico se compone de uno a varios sensores piezoeléctricos, los cuales se colocan dentro de una carcasa o baldosa.

Cada elemento contiene partes que al ser sometidas a tensiones producen la polarización de sus moléculas, lo que se llama efecto piezoeléctrico. La polarización causa un diferencial de potencial a través del material y es utilizada por entregar corriente eléctrica en el elemento.

Al desear usar la energía producida en los transductores, se debe acondicionar esa potencia obtenida de modo que se obtenga una energía adecuado para la alimentación del dispositivo o la carga. Se puede indicar la salida sucede en distintos pasos o etapas.

Figura 16. Respuesta de un material piezoeléctrico a proceso de vibración y compresión



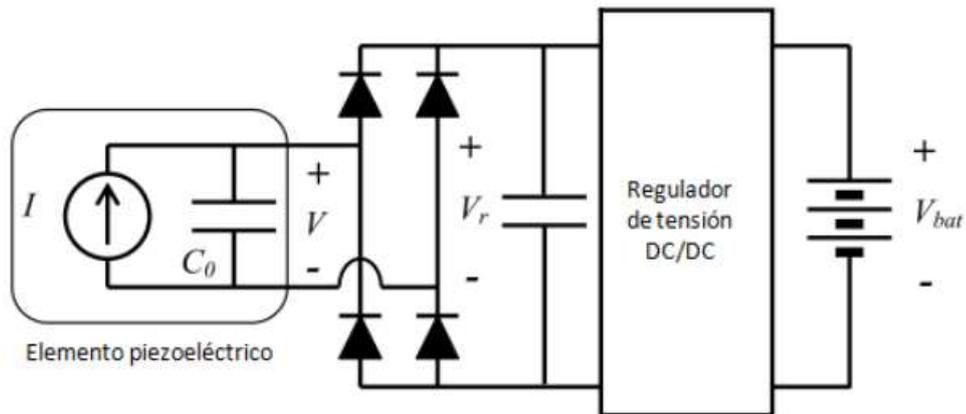
Fuente: (Martín et al., 2018)

A la salida de una celda piezoeléctrica, se puede obtener una señal ya sea de corriente alterna o variable en amplitud y por lo general de muy baja intensidad. A esta señal se requiere introducirla a un rectificador AC/DC, siendo el más usado el tipo puente completo.

Una vez rectificada la onda se procede con el filtrado de la misma, usando un capacitor dependiendo de las características de la carga, se hace uso de un regulador de tensión, para evitar sobrecargas en la carga.

De manera general, el circuito encargado del modelado de la señal obtenida por el material piezoeléctrico es como se aprecia en la Figura 17, que se compone por el conjunto de elementos anteriormente descritos que permiten cargar un medio de almacenamiento como la batería.

Figura 17. Circuito convertidor para carga de baterías a partir del efecto piezoeléctrico



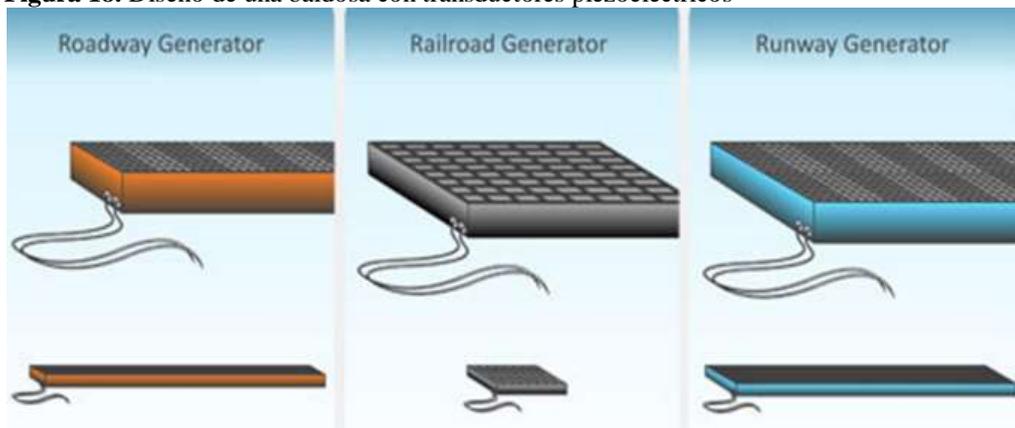
Fuente: (Martín et al., 2018)

Para evitar el diseño por partes, se recurre a circuitos integrados con las funcionalidades descritas anteriormente como es el caso del integrado LTC3588-1, este es su interior lleva todos los elementos y partes requeridos para acondicionar la energía que ingresa y poder almacenar en baterías o condensadores (Martín et al., 2018).

7.9.2. Baldosa Piezoeléctrica

La baldosa piezoeléctrica realiza la captación de la energía mecánica que recibe al ser pisada por alguna persona, al momento de que la persona pisa la baldosa esta baldosa se hundirá una proporción que es definida mediante la construcción de la misma baldosa y logrará la compresión del elemento o elementos generadores piezoeléctricos para lograr generar la energía eléctrica.

Figura 18. Diseño de una baldosa con transductores piezoeléctricos



Fuente: (Gutiérrez, 2017)

La estructura mecánica recibe la energía, que puede ser en forma de presión, vibración, o deformación producida por un agente externo como la pisada de un humano. Debe por ello captar esta energía para poder transmitirla a los transductores piezoeléctricos con las menores pérdidas posibles.

Esta parte del sistema es la que requiere el mayor interés en el análisis, pues es donde se recibe la energía mecánica a transformar y reutilizarse gracias a los dispositivos piezoeléctricos. Debe tener la capacidad de obtener y capturar la energía proveniente de agentes externos y ser capaz de entregar esta energía a los transductores para producir energía.

Algunas empresas como: Powerleap, Pavegen, Innowattech, Energy Floors, Soundpower y Waynergy Floor, son fabricantes de dispositivos en base al efecto piezoeléctrico con sus baldosas piezoeléctricas que generan electricidad por medio de la energía mecánica producida por el paso o tránsito peatonal, donde cada una de estas empresas presenta sus propios márgenes de generación de energía. Sin embargo, la generación de energía eléctrica utilizando las baldosas piezoeléctricas depende principalmente de los aspectos constructivos de la baldosa y de la aplicación donde se las ubique (Sotelo Delgadillo & Nieto Cañón, 2018).

- **Baldosa de Pavegen System**

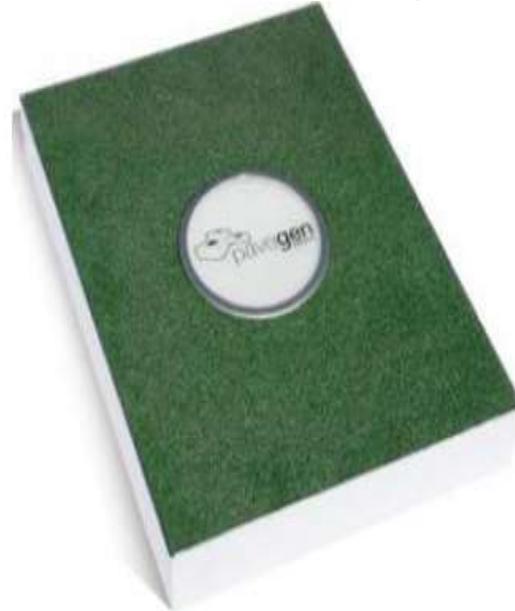
Pavegen System, fabricante de una baldosa piezoeléctrica, la generación de energía está en función del peso de la persona y sus ensayos muestra que una persona de aproximadamente 140 libras en promedio que pise la baldosa generará aproximadamente 5 Watts de potencia, posee además las siguientes características:

- Dimensiones 60x45cm.
- Capacidad de generar 5 Watts por pisada.
- Tiempo de uso de 5 años.
- Desplazamiento máximo de la baldosa 5 mm.
- Puede utilizarse tanto en interiores como exteriores.
- Es resistente al agua.
- Fabricado con caucho y otros materiales reciclados.

La baldosa Pavegen contiene una luz led en su centro esta consume un 5% de la energía total producida por la compresión de los materiales piezoeléctricos, el 95% restante de la energía

total es la energía aprovechable que irá hacia la carga o un sistema de almacenamiento de energía (Soria González, 2019).

Figura 19.Eco-Baldosa Piezoeléctrica Pavegen



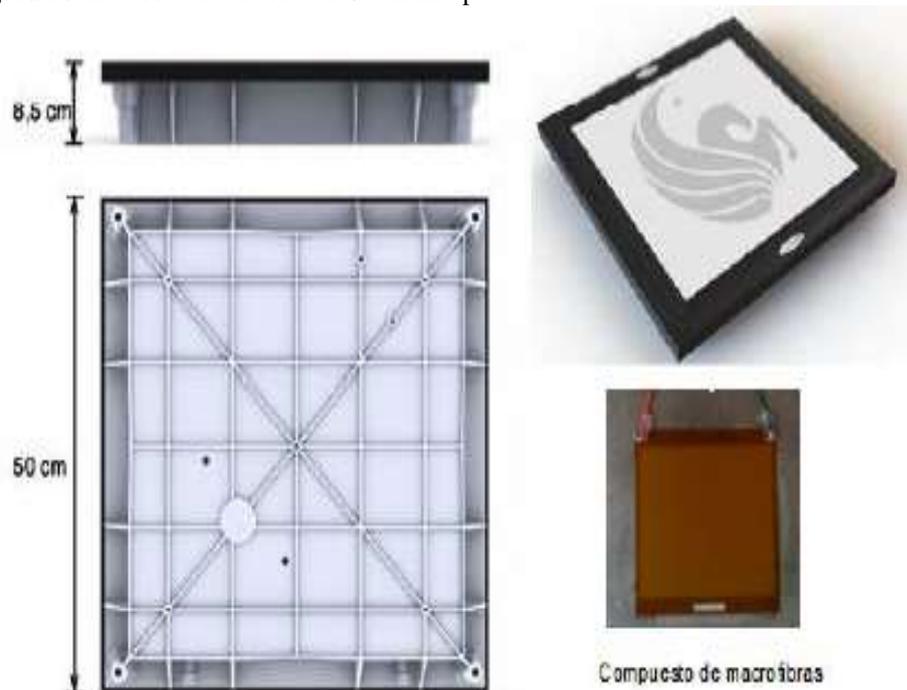
Fuente: Ojeda, E. O., 2019

- **Baldosade Powerfloor de la empresa POWERLeap**

La baldosa Powerfloor de la empresa POWERLeap, tiene en su línea de baldosas a la que se muestra en la Figura 20, sus dimensiones y especificaciones son: se monta en una forma de aluminio de 3 cm de alto, 50 cm de ancho y 50 cm de largo, la cual tiene la capacidad de soportar hasta 100 [KN].

Sobre la estructura se cuenta con dos placas metálicas de aluminio de 3 y 4 [mm] de espesor, que tienen la capacidad de hundirse al ser pisadas alrededor de 5mm. En medio de las dos placas, se encuentra el material piezoeléctrico. El material piezoeléctrico utilizado por la baldosa Powerleap, es en base a materiales de macrofibras piezoeléctricas (MFC).

Figura 20. Baldosa Powerfloor – POWERLeap



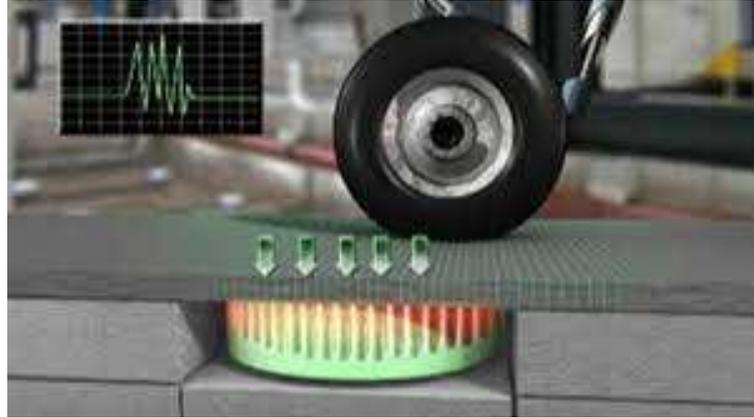
Fuente: (Adina et al., 2015)

- **Baldosa de Innowattech**

La empresa Innowattech Energy Harvesting System, ha desarrollado sistemas piezoeléctricos para la obtención de energía tanto en tráfico de personas, vehículos y trenes, con proyectos pilotos de generadores piezoeléctricos, que han sido probados e instalados a lo largo de vías vehiculares, con capacidades de producción de 200 kWh de electricidad suficiente para satisfacer el consumo medio de entre 200 y 300 hogares (Sotelo Delgadillo & Nieto Cañón, 2018).

Del mismo modo han instalado sistemas piezoeléctricos en vías férreas, generando 120 kilovatios de energía renovable por hora de un promedio de 15 trenes de 10 vagones cada uno por hora, producción de energía que se ha empleado para colaborar en la alimentación eléctrica de los trenes o de las señales ferroviarias (Sotelo Delgadillo & Nieto Cañón, 2018).

Figura 21. Aplicación de Generadores piezoeléctricos Innowattech



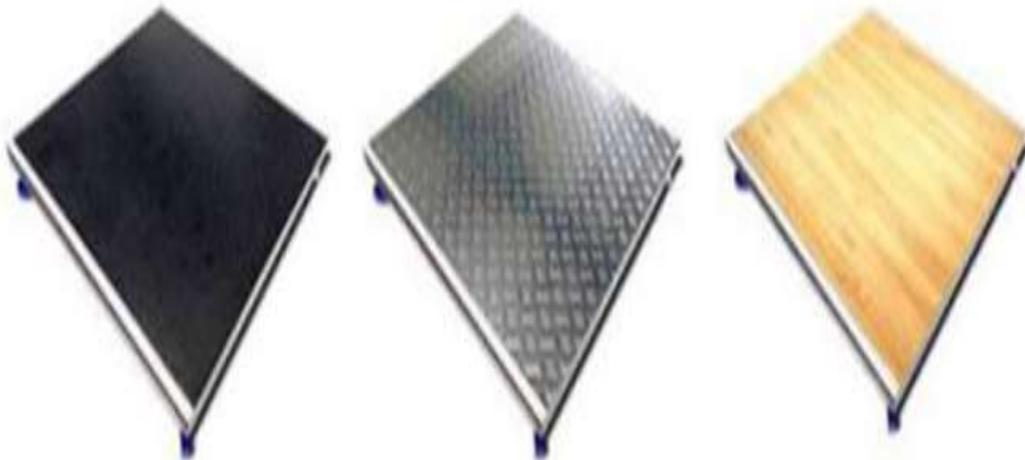
Fuente: (Innowattech, 2022)

- **Dispositivos ENERGY FLOORS.**

El producto Sustainable Dance Floor (SDF), de la empresa al ser pisado y flexionarse crean un movimiento que se transforma en energía eléctrica, por medio de un pequeño generador interno, donde cada módulo de Sustainable Dance Floor de tamaño de 75x75x20 cm puede producir entre 5 y 20 Vatios por persona, y el sistema puede alimentar alimentando las luces LED de una pista de baile creando una atmósfera de discoteca y proporcionando al público una experiencia interactiva.

Un paso o movimiento en la baldosa Energy Floors puede generar entre 2 a 20 Joule, que está en proporción con el peso de la persona, el tipo de pisada y la deflexión máxima.

Figura 22. Baldosa generadora de energía (SEF)



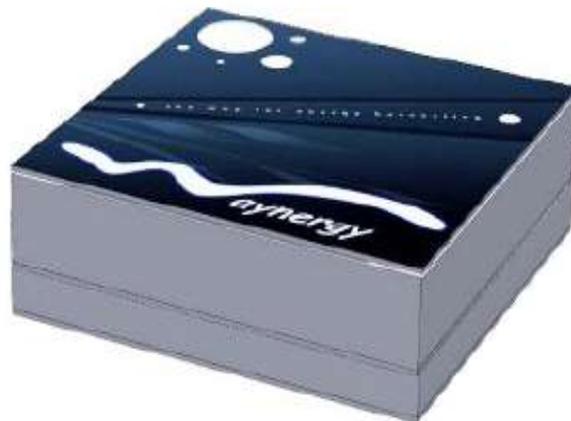
Fuente: (Energy Floors, 2022)

- **Dispositivos Waynergy**

WAYDIP ha desarrollado el sistema Waynergy People que puede capturar la energía cinética producida por las personas y el movimiento de vehículos y transformarla en energía eléctrica.

Los pavimentos y/o suelos de pavimento Waynergy People se pueden optar para la producción de energía en las zonas urbanas de lugares tales como centros comerciales, hospitales, escuelas, parques públicos, etc. El factor determinante para la generación de energía es el peso ejercido sobre el suelo equipado con Waynergy, cuanto más pesado sea el elemento que pasa sobre el suelo, más potencia se genera. Cada sistema de placas o baldosas ha incorporado pequeños motores que producen energía cuando se presiona y almacenan esta energía en baterías que se pueden utilizar en tiempo real o en una etapa posterior.

Figura 23. Suelos de pavimento Waynergy People



Fuente: (Waydip, 2010)

En el trabajo de investigación de (Sotelo Delgadillo & Nieto Cañón, 2018), se muestra la Tabla 3 con característica y especificaciones de las baldosas y suelos piezoeléctricos de los fabricantes antes mencionados.

Tabla 3. Especificaciones técnicas y costos de los dispositivos piezoeléctricos.

Empresa	Dispositivo Piezoeléctrico		
	PAVEGEN	ENERGY FLOORS	Waynergy WAYDIP
Producto	Baldosa Pavegen V3, Triangular	Baldosa Energy Floor	Baldosa Waynergy People
Medidas	50 [cm] por cada borde	50x50x8 [cm]	40x40 [cm]

Energía generada	5 W a partir de cada paso	Un paso produce de 7 hasta 30W por pisada	Se genera 10 Vatios por pisada
Ventajas	Fácil Instalación. Adaptable Uso interior y exterior. Amigable con el Medio Ambiente. Fabricadas de materiales reciclados. Resistentes a ambientes nocivos	Uso interior y exterior. Para flujo peatones y tránsito de autos. Las peatonalesson reciclables. El panel superior del piso puede ser un panel solar.	Aplicables en tránsito personal y movimiento de autos Aplicaciones de interior y exterior. Sustituyen el actual pavimento.
Desventajas	Costo elevado. Comercializadas por su fabricante. Dependen del flujo peatonal de personas para generar la cantidad de electricidad	Costo elevado. Comercializadas por su fabricante. Depende el peso de la persona, el tipo de movimiento y la deflexión	Costo elevado. Comercializadas por su fabricante. Dependen del peso del elemento que pasa sobre la baldosa, para generar.

Fuente: (Sotelo Delgadillo y Nieto Cañón, 2018)

7.10. Circuito regulador de carga

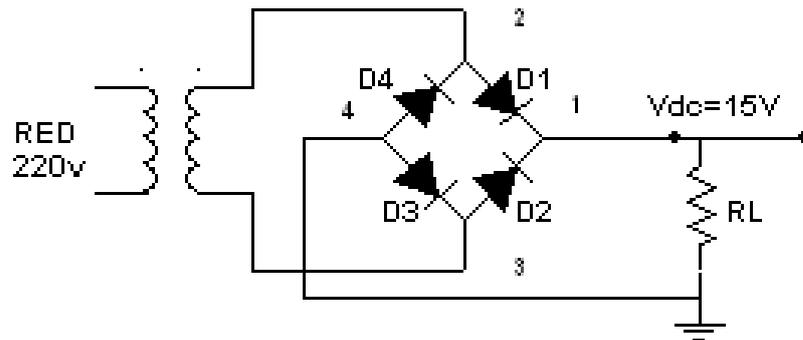
Compuesto por un sistema de rectificación AC/DC generalmente del tipo que convierte la señal alterna de conjunto piezoeléctrico en señal continua, junto con un condensador para el filtrado de la señal. Posteriormente la señal rectificada pasa a un convertidor DC/DC que tiene como tarea acondicionar la señal continua obtenida del rectificador a la requerida por la carga.

7.10.1. Rectificador AC/DC de onda completa

El puente rectificador de onda completa o doble onda rectifica ambos semiciclos. En cuanto al funcionamiento en el circuito del puente completo de diodos, el funcionamiento de los diodos es el mismo, solo que la forma en la que están conectados aprovecha los dos semiciclos, el positivo y el negativo, para que la señal sinusoidal se vuelva lo más plana posible, ya que la ideal sería una tensión continua del valor V_{ref} .

En el esquema siguiente podemos ver el diseño simple de un rectificador de onda completa con el puente de Graetz, de una fuente de tensión, que transforma la corriente de 220V alterna en corriente continua de 15V.

Figura 24. Esquema de una rectificadora AC/DC onda completa



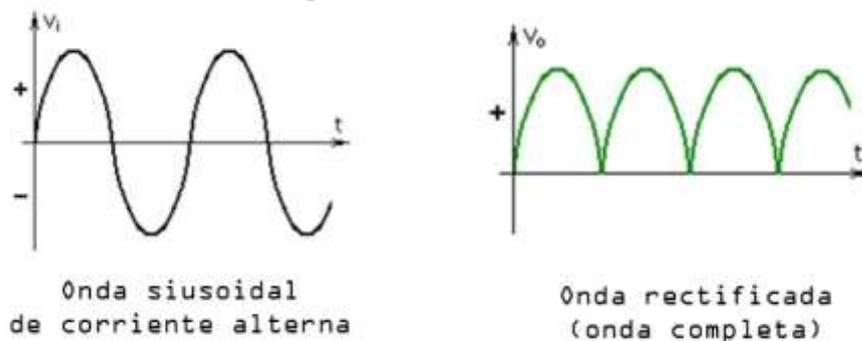
Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

El rectificador convierte la señal de voltaje alterna proveniente del conjunto piezoeléctrico a corriente continua que tiene que pasar por un proceso de filtrado y regulado posterior.

7.10.2. Filtro

La salida de un rectificador consigue que la tensión esté toda en los semiciclos superiores, la parte positiva. Por tanto, solo tendremos tensión que vaya de 0V hasta un valor máximo, pero seguirá siendo analógica y no estará completamente rectificadas, como en la Figura 25.

Figura 25. Onda rectificadas del puente de diodos



Fuente: (Rectificadores y Sus Aplicaciones – Capacitación Técnica, 2021)

Esto es un efecto llamado rizado, el cual se deberá suavizar mediante un filtro basado en un condensador electrolítico el cual produce en el momento de bajada de voltaje una realimentación, eliminando en gran parte este efecto como se muestra en la Figura 26.

Figura 26. Onda filtrada de la rectificadas del puente de diodos



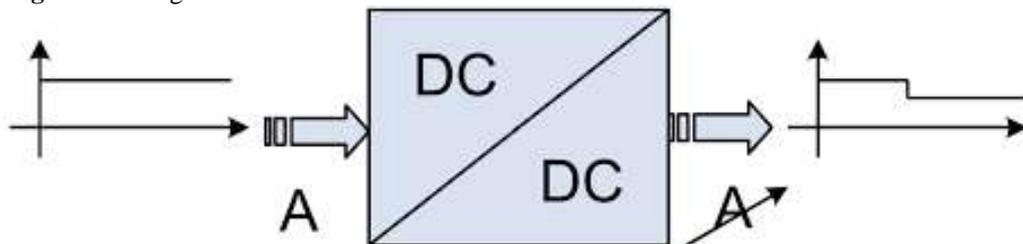
Fuente: Puente rectificador - Wikipedia, la enciclopedia libre

7.10.3. Convertidor DC/DC

Estos convertidores se utilizan comúnmente en fuentes de alimentación como última etapa antes de la carga. El circuito DC/DC permite adaptar una señal DC en otra de distinta amplitud. Los convertidores DC/DC.

Existe una gran variedad de convertidores DC/DC, cada uno con sus características, pero analizaremos los dos más usados, el convertidor elevador (boost) y el convertidor reductor (buck).

Figura 27. Diagrama de un convertidor DC/DC



Fuente: (Pérez, 2016)

- **Convertidor elevador (boost)**

El convertidor boost es un convertidor DC/DC que obtiene a su salida una tensión continua mayor que a su entrada. Es un tipo de fuente de alimentación conmutada que contiene al menos dos interruptores semiconductores y al menos un elemento para almacenar energía.

- **Convertidor reductor (buck)**

El convertidor reductor buck es un convertidor DC/DC que obtiene a su salida una tensión igual o menor que a su entrada. El diseño es similar al del convertidor boost, con una fuente

conmutada con dos dispositivos semiconductores, con un inductor tras el interruptor y un condensador a la salida para almacenar la energía.

7.10.4. Almacenamiento de la energía

La potencia proveniente de los generadores piezoeléctricos requiere primero ser almacenada ya que el conjunto piezoeléctrico podría presentar variaciones de carga o no sería una fuente de poder suficiente para la mayoría de los aparatos o cargas eléctricas.

La energía reunida de cada baldosa generada puede ser almacenada en algún elemento de almacenamiento. Las tecnologías de almacenamiento son los capacitores de alta densidad de energía de carbón – plomo, baterías (de ácido y plomo y avanzados, incluyendo baterías flotantes), supercapacitores, almacenamiento de energía por aire comprimido (CAES), bombeo de agua e hidrógeno.

- **Tipos de baterías**

En el mercado actual podemos encontrar diferentes tipos de baterías. A continuación, se muestra un resumen de los tipos de baterías más comunes:

Figura 28. Tipos de baterías usadas en la actualidad



Fuente: (Tritec Intervento, 2020)

En la actualidad existen métodos de almacenamiento masivo de la energía los cuales se mencionaron, pero las baterías poseen grandes ventajas con respecto a los demás sistemas, como su portabilidad, son comercialmente disponibles y relativamente económicas lo que las hace una de las mejores opciones para implementar en sistemas de acumulación de energía.

Existen diversos tipos de baterías siendo las más importantes las que se menciona a continuación; las cuales se diferencian en su estructura física, modo de funcionamiento o composición química, las cuales tienen distintas ventajas y/o desventajas, que pueden ser aprovechadas según su uso.

- **Baterías de plomo ácido**

Descripción de la tecnología: Las baterías de Plomo-ácido son un tipo de batería primaria, conformadas en base a la teoría de celdas de Leclanché¹² actualmente es la tecnología de almacenamiento de energía más antigua con más de 130 años, aún son el medio de almacenamiento electroquímico recargable más usado en pequeños sistemas de respaldo.

- **Baterías de níquel-cadmio (NiCd)**

El nacimiento y desarrollo de esta batería de tipo alcalina se remonta a la década de los años 50, esto ayudó a que se estableciera en el mercado, y que alcanzara una madurez cercana a las baterías de plomo-ácido. El material del electrodo positivo es hidróxido de níquel Ni(OH)_2 mientras que el electrodo negativo es de cadmio (Cd). La solución alcalina KOH (hidróxido de potasio) actúa como el electrolito. Ambos electrodos están aislados por un separador, y son enrollados en forma espiral dentro de la carcasa, este diseño reduce la resistencia interna ya que hay una mayor cantidad de electrodo en contacto con el material activo en cada celda. Este tipo de batería puede ser encontrada típicamente en dos formas, según la aplicación; en forma sellada para dispositivos portátiles o en su forma “flooded” o tipo húmedo para aplicaciones industriales.

- **Baterías de litio**

Descripción de la tecnología: A comienzos de los años 70 Exxon desarrolló la primera batería de litio recargable, que se basaba en un cátodo de di-sulfuro de titanio (TiS_2) y un ánodo de litio-aluminio (LiAl). [15].

Gracias a la masificación de dispositivos electrónicos portátiles, también se profundiza en el mejoramiento de sus fuentes de energía. Se han enfocado los esfuerzos en las baterías de ion-litio (Li^+) y Polímero de litio (LiPo) gracias a su relación densidad/ peso.

Desde su comercialización masiva a comienzos de los años 90 por Sony, las baterías de litio han logrado un avance importante en cuanto a peso, capacidad de almacenamiento y potencia. Actualmente, las baterías de litio son usadas ampliamente para teléfonos móviles y aparatos electrónicos portátiles, alcanzando una producción anual de 2000 millones de baterías y 10*10⁹ millones USD en ventas en el año 2014 (Santacruz, 2015).

Esta tecnología atrae mucha atención de la industria tecnológica de materiales y del sector energía, con el objetivo de obtener equipos de alta potencia para aplicaciones como autos eléctricos y almacenamiento de energía a gran escala, aunque su desarrollo en este ámbito se ha retrasado principalmente por razones de seguridad y costos los que están estrechamente relacionados.

Todas las baterías de iones de litio trabajan de la misma manera. Durante la carga de la batería, el electrodo positivo retira algunos de sus iones, que se mueven a través del electrolito para llegar al electrodo negativo y permanecen ahí. La batería almacena energía durante este proceso. Cuando la batería se descarga, los iones vuelven a través del electrolito hacia el electrodo positivo, alimentando la carga.

7.11. Aplicaciones del sistema piezoeléctrico

La conversión eficiente de energía mecánica en energía eléctrica, utilizando los materiales piezoeléctricos tienen un amplio campo de aplicación.

Dentro del campo óptico, los materiales piezoeléctricos se utilizan para estabilizar formación de imágenes, microscopio electrónico, sistema de enfoque automático, alineación y conexión de fibra de vidrio. En ingeniería mecánica, los actuadores piezoeléctricos se utilizan para eliminación de vibraciones, localizador, abrazadera, cuña, amortiguación, produciendo sonidos ultrasónicos o vibraciones (Kalpakjian & Schmid, 2018).

En el sector automotriz, el uso de sensores piezoeléctricos es cada vez más importante. Actualmente, el sensor de reversa (reversa) ayuda acciones de maniobra y estacionamiento; giroscopio registra movimiento partes vitales del vehículo y activa sistemas de estabilidad de última generación. La piezocerámica soplada ha tenido mucho éxito en la industria automotriz. Este Permite un control sensible de la vibración del motor y la relación de transmisión mínimo (Calderón & Clavijo, 2014).

Una de las aplicaciones más extendidas de los cristales piezoeléctricos es en dispositivos como los encendedores electrónicos; los cuales tienen un piezoeléctrico que recibe de una fuente externa de un golpe repetitivo para generar alta concentración de carga, capaz de generar arcos eléctricos o las chispas encenderán el encendedor (iSO 3685:1993, 1993).

Hoy en día se ha promovido el estudio de los materiales piezoeléctricos como una fuente alternativa para obtener energía eléctrica, por medio de diferentes iniciativas institutos de investigación como sectores empresariales se ha centrado en buscar aplicaciones útiles de este tipo de materiales para obtener energía eléctrica (Zapata & Bustamante, 2013).

Ejemplos de este tipo de proyectos son los que realizaron en el 2004 James Graham y Thaddeus Jusczik empleando transductores piezoeléctricos incrustados en el fondo de un zapato, con el que lograron obtener 8.4 mW por cada impacto del pie. En el 2010 J. Paradiso y S. Schenk incorporaron un mini generador piezocerámico en el talón de un zapato para cargar una batería mientras se camina o corre esto gracias a circuitos adicionales. Con una eficiencia del 11% (Rashmi et al., 2017).

La empresa israelí Innowattech hace uso de transductores generadores piezoeléctricos debajo de la superficie de una autopista a una profundidad de 20 cm, aprovechando la energía mecánica producida por los automóviles que la transitan para generar energía eléctrica sin alterar de ninguna manera el ambiente. La empresa israelí informó que sería capaz de generar hasta 500 kW en una hora de tráfico por cada kilómetro instalado con esta tecnología en cualquier autopista. La energía se utiliza para mantener encendidas las señales luminosas (Paz, 2012).

7.11.1. Aplicaciones en generación de energía mediante pisadas

Otro tipo de presentación de generadores piezoeléctricos ha sido la aplicación de discos piezoeléctricos en baldosas para obtener energía eléctrica.

En Japón la compañía de metro East Japan Railway Company instaló en las entradas de los torniquetes discos de materiales piezoeléctricos que aprovechan la energía generada por el paso de usuarios que ingresan a diario al metro. La compañía ha informado que obtuvo una cantidad de 10 V por segundo con un sistema funcionando al 90 % de su capacidad (Arévalo & Lamprea, 2019).

En Inglaterra ha surgido una empresa que ha sobresalido por el uso de baldosas piezoeléctricas, Pavengen Systems la empresa creada en el 2009 por Laurence Kemball-Cook y que se ha asociada con la empresa alemana Siemens, han desarrollado proyectos en Reino Unido y Europa instalando sus baldosas en estaciones de tren, de autobús, de metro, colegios y centros comerciales para alimentar anuncios digitales, sistemas de iluminación de baja potencia o zonas de Wi-Fi. Las baldosas Pavengen están diseñadas para que el 80 % de polímeros utilizados para su construcción sean reciclados y su revestimiento superior está hecho de goma reciclada de neumáticos, reduciendo al mínimo la huella de carbón. Las baldosas son resistentes al agua por lo que se pueden colocar en cualquier sitio en exteriores o interiores (García, 2012).

7.12. Estudio de la pisada humana

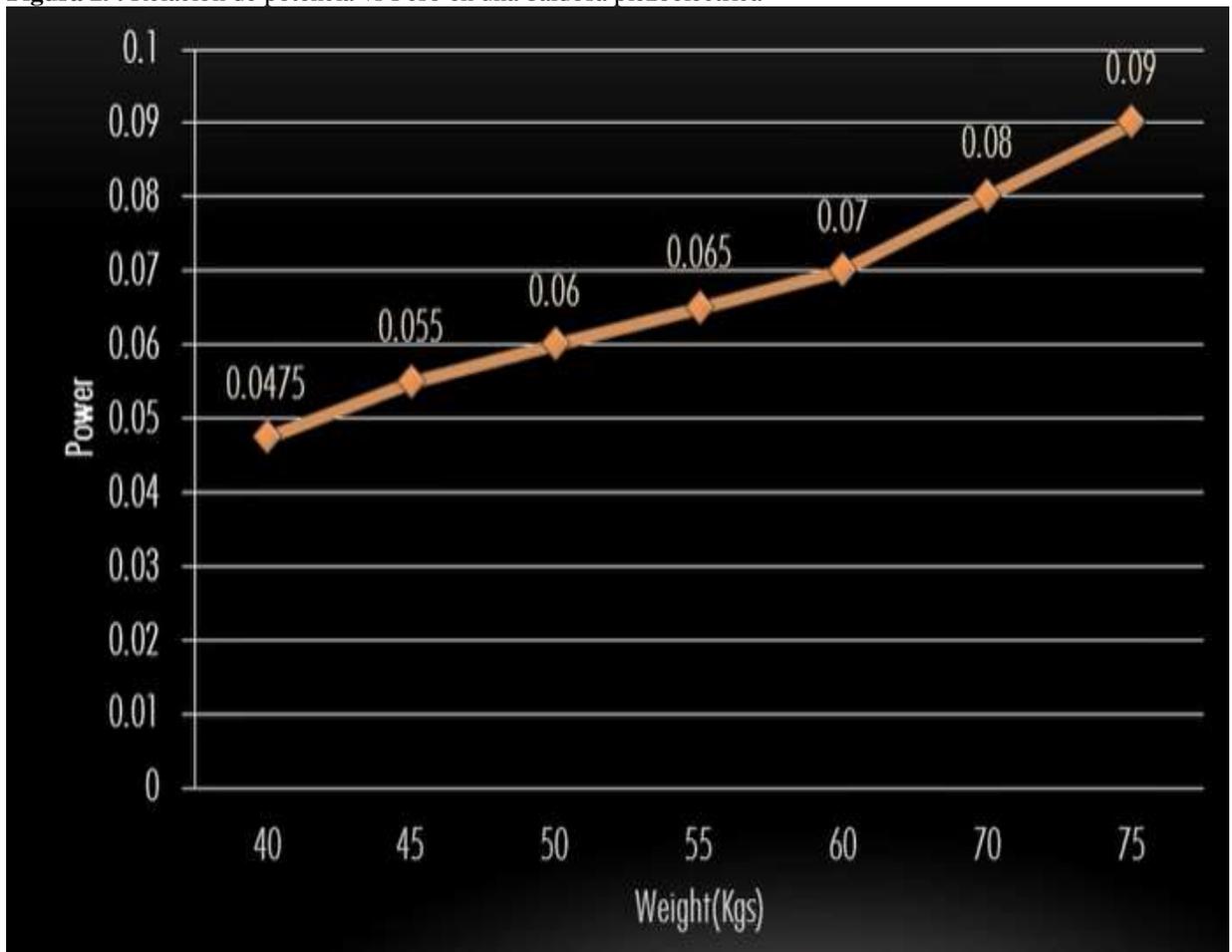
Acerca de la capacidad de las interacciones del cuerpo humano, se realizan estudios estáticos, cinemáticos y dinámicos sobre el cuerpo humano, en este caso es posible aprovechar al máximo la fuerza de cada paso (masa, aceleración).

Se tiene los siguientes estudios que reflejan que una persona de 68 kg con un porcentaje de grasa corporal del 15% equivale a una energía química acumulada de 384 MJ (Starner & Paradiso, 2003).

Con el principio de generación piezoeléctrica, en un estudio realizado y publicado en la revista “Human-Powered wearable computing”, realizado por T. Starner, se muestra que actualmente se puede obtener 67 Watt de potencia a partir de la caminata de una persona, mediante sensores piezoeléctricos de muy altas prestaciones. La persona promedio tiene un peso de 68 Kilos.

La constancia del caminar de una persona, equivale a hacer 2 pasos/segundo, con el talón moviéndose 5 cm (Pérez Pineda & Velázquez Alfaro, 2017). De la mayoría de baldosas comerciales, se puede obtener que es posible generar una potencia de 0,09 W y con voltajes de salida máximo de 40 V puede ser generado por una baldosa cuando un peso de 75 Kg es aplicado sobre ella como se muestra en la gráfica de la Figura 29.

Figura 29. Relación de potencia vs Peso en una baldosa piezoeléctrica



Fuente: (Tushar, 2016)

8. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El tipo de investigación realizado es exploratorio y descriptivo. Se estudia el fenómeno físico de la obtención de energía eléctrica con el efecto piezoeléctrico mediante fuentes de datos secundarias donde se realiza la recopilación de la información de casos de estudio, revistas, periódicos, artículos, libros, etc.; y mediante fuentes primarias de información basado en la observación directa de trabajos y la implementación del sistema en la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná. En el sistema implementado se realiza diversos ensayos, pruebas y ajustes con el fin de describir y poner en marcha el sistema terminado.

8.1.Ubicación del proyecto

El proyecto se encuentra localizado en la provincia de Cotopaxi, cantón La Maná bajo la siguiente ubicación geográfica tomado del mapa Google Earth, las coordenadas son: $0^{\circ}56'33''S$ $79^{\circ}14'11''An$ y con una altitud de 196 metros sobre el nivel del mar. En la ubicación se encuentra la infraestructura del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná y está conformada un edificio de tres plantas, aulas, laboratorios, cancha sintética, área de parqueaderos y un vivero agronómico. El área aproximada es de 2500 m².

Figura 30. Fachada exterior del Bloque B Extensión La Maná



Fuente. (Caldaz y Jácome, 2022)

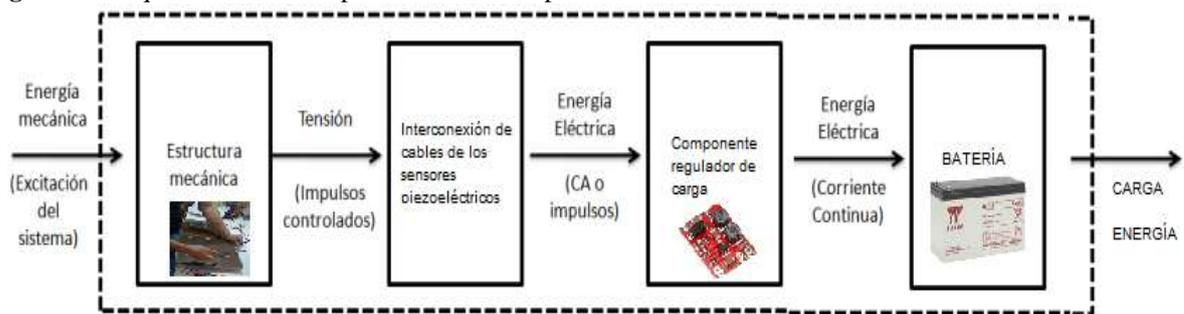
La entrada peatonal del bloque B de la Universidad técnica de Cotopaxi, tiene un ancho de 1,20 metros, y un pasillo de 3 metros que dirigen hacia cada una de las aulas de la planta baja del edificio. La entrada no cuenta con un sistema de iluminación, y tampoco la entrada vehicular

que se encuentra adjunta. En la entrada se plantea la colocación de la iluminación respectiva y el conjunto piezoeléctrico calculado.

8.2. Caracterización del sistema piezoeléctrico

El esquema del circuito que satisface la implementación realizada consta de un sistema de generación piezoeléctrica, una etapa de acondicionamiento y regulación, una etapa de almacenamiento y finalmente la carga, como se muestra en la Figura 31.

Figura 31. Esquema del sistema piezoeléctrico a implementarse



Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

En relación al montaje mecánico y electrónico realizado usando este tipo de generación, cuando se usan materiales de este tipo para la generación y recolección de energía de los alrededores, es necesario que la energía que será usada, sea primero almacenada. Sino se realiza la acumulación y almacenamiento de la energía almacenada, el sistema de plataformas piezoeléctrica no sería una fuente de poder suficiente para la carga conectada.

En primer lugar, se encuentra la fuente de suministro de energía, que para nuestro es el conjunto de balsosas piezoeléctricas con sus sensores cerámica tipo PZT-3B35 en cada una, la cual entregará una señal alterna de acuerdo a las deformaciones generadas por las pisadas.

Seguidamente se ubica un acondicionador y regulador de carga DC/DC el cual posee un rectificador de onda completa compuesto por diodos y un circuito regulador de voltaje, los cuales se encargan de convertir la señal alterna variable en señal continua, junto con un condensador que se ocupa del filtrado.

En tercer lugar, se conecta la batería o el elemento que se pretenda cargar para almacenar la energía que será entregada al sistema de iluminación.

8.3. Estimación del sistema de obtención de energía

El sistema de generación piezoeléctrica basa su producción de energía en base a las pisadas sobre un conjunto piezoeléctrica de baldosas. Por lo que un primer paso es estimar el flujo de tráfico peatonal que se tiene en la entrada del Bloque B y en base a eso definir el potencial de generación de este recurso.

8.3.1. Estimación del tránsito peatonal

El flujo peatonal se realiza mediante la toma de información primaria en un estudio de campo mediante la observación de la movilidad peatonal en la entrada. Con este método obtenemos la cantidad de estudiantes que transitan por la entrada.

Dado que las clases son en horarios de 6am a 10pm, los estudiantes suelen entrar y salir más de una vez en descansos entre clases, se procede a tomar medidas en intervalos de hora en dos días de la semana laboral, con esa información se considera para determinar el promedio de tránsito al día. En la tabla 4 siguiente se muestra el conteo de personas en la entrada.

Tabla 4. Tránsito de estudiante, docentes y visitantes en puerta de entrada a Bloque B

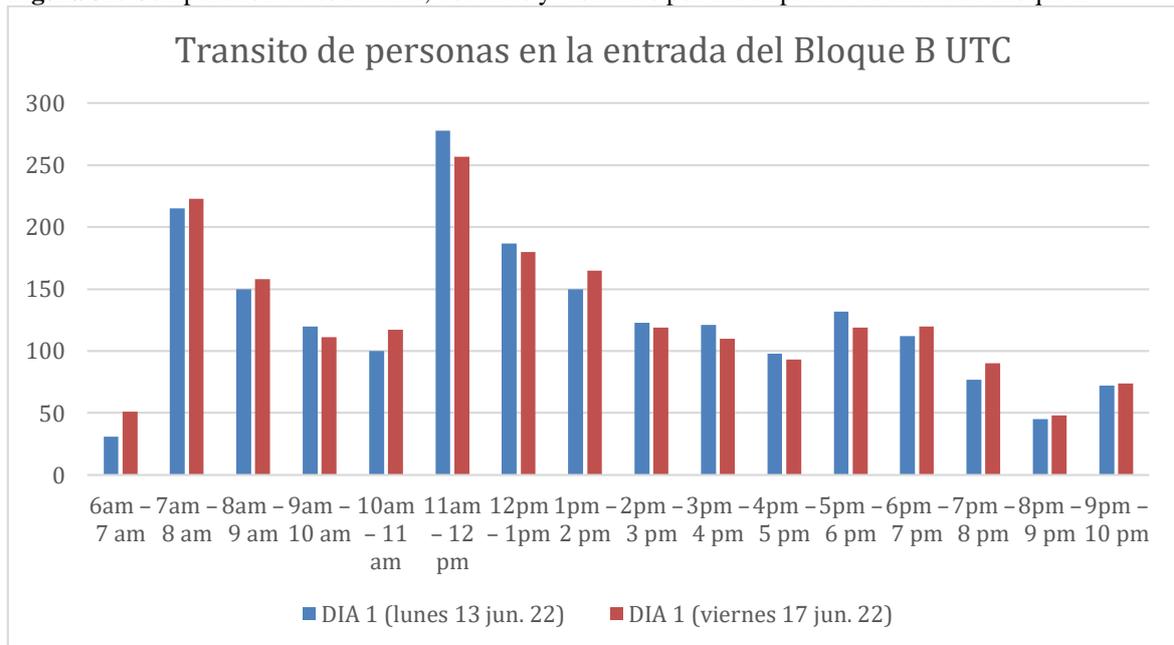
HORARIO	DÍA 1 (lunes 13 jun. 22)	DÍA 1 (viernes 17 jun. 22)
6am – 7 am	31	51
7am – 8 am	215	223
8am – 9 am	150	158
9am – 10 am	120	111
10am – 11 am	100	117
11 am – 12 pm	278	257
12pm – 1pm	187	180
1pm – 2 pm	150	165
2pm – 3 pm	123	119
3pm – 4 pm	121	110
4pm – 5 pm	98	93
5pm – 6 pm	132	119
6pm – 7 pm	112	120

7pm – 8 pm	77	90
8pm – 9 pm	45	48
9pm – 10 pm	72	74
TOTAL	2011	2035

Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

De los datos obtenidos para una mejor visualización se representa los valores en la Figura 32.

Figura 32. Comparación de estudiante, docentes y visitantes por día en puerta de entrada a Bloque B



Fuente: (Caldas y Jácome, 2022)

De los datos obtenidos se evidencia que la afluencia de personas sigue un patrón, teniendo la hora de 11am a 12pm con mayor afluencia de personas que ingresan y salen del bloque B.

Con la información obtenida podemos encontrar el promedio del flujo de personas por día y el promedio de personas por hora. Estos valores nos sirven para nuestras estimaciones mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Media flujo de personas/día} = \frac{\sum \text{Total de personas al día}}{\text{Numero de días medidos}} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\text{Media flujo de personas/día} = \frac{2011+2035}{2} = 2023 \text{ personas}$$

El promedio de personas por hora se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\text{Media flujo de personas/hora} = \frac{\text{Media flujo de personas/día}}{\text{Número de horas medidos}} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\text{Media flujo de personas/hora} = \frac{2013}{16} = 125 \text{ personas}$$

Con el promedio de personas procedemos a estimar el número de pasos que se puede obtener para el conjunto de baldosas piezoeléctrica; entonces dependerá del área abarca por el arreglo de baldosas. Es proporcional que, a mayor área de baldosas, mayores pasos son capturados.

8.4. Determinación de la carga de iluminación

Para dotar de iluminación para la entrada del bloque B, se procede a elegir una lámpara que cumpla con los valores de iluminancia requerida para el lugar.

El pasillo de la entrada del bloque B tiene las siguientes características:

Ancho = 1,20m

Largo = 4 m

Área = 4.80 m²

Altura = 2,80 m

La consideración respecto a la cantidad de iluminación requerida puede ser en base al espacio como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 5. Iluminación en base al espacio.

Espacio	CANTIDAD DE ILUMINANCIA (LUX)		
	Mínimo	Recomendado	Óptimo
Dormitorio	100	150	200
Cuarto de aseo	100	150	200
Cuarto de estar	200	300	500
Cocina	100	150	200
Cuarto de estudio	300	500	750
Conexiones	50	100	150
Baños	75	100	100

Fuente: Molar (2014)

8.4.1. Cálculo de flujo luminoso requerido

Para un pasillo o conexiones la cantidad de iluminación óptima es de 150 Luxes según la recomendación

La fórmula requerida de la iluminancia (E) es:

$$E = \frac{\varphi}{A} [Lx] \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde

φ es el flujo luminoso total del lugar

A es el área total en m²

- Despejando de la fórmula el valor del flujo luminoso φ se tiene:

$$\varphi = E * A = 150 Lx * 8.25 m^2 = 1237 Lm \quad \text{Ecuación 14}$$

8.4.2. Selección de la lámpara

Se considera en la actualidad luminarias con tecnología LED tipo exterior, ya que presenta ventajas respecto a la iluminación convencional, tales como eficiencia, vida útil de mayor que las lámparas tradicionales, con 50 mil horas de vida útil.

Al requerir con un flujo lumínico de mínimo 1237 Lm, se aborda en el mercado una lámpara de 1500 Lm, con una potencia eléctrica de 15W, y un voltaje de alimentación de 12 Vdc como se muestra en la Figura 33.

Figura 33. Lámpara selecciona para proyección de iluminación de la entrada Bloque B



Fuente: Molar (2014)

Las especificaciones técnicas de la lámpara se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Especificaciones técnicas de la lámpara.

Alto (cm)	2.50
Ancho (cm)	8
Largo (cm)	60
Marca	Nippon
Material Estructura	ABS + Policarbonato
Potencia (W)	20
Lúmenes (lm)	1500
Tipo Luz (calida, fria)	Fria
Peso (g)	300
Tipo Ampolleta	Led SMD Integrado
Incluye Bombillo	LED SMD 3525

Fuente: Molar (2014)

El consumo de energía de esta iluminación depende de las horas de funcionamiento requerida. Generalmente la iluminación es requerida para la jornada nocturna, es decir se asume un supuesto de 6 horas, desde las 6pm hasta las 11:59pm que culmina el día. La demanda de energía diaria se determina:

$$Demanda (D) = 15 W \quad \text{Ecuación 15}$$

$$tiempo uso al día (t) = 6 horas \quad \text{Ecuación 16}$$

La energía requerida por día de la lámpara es:

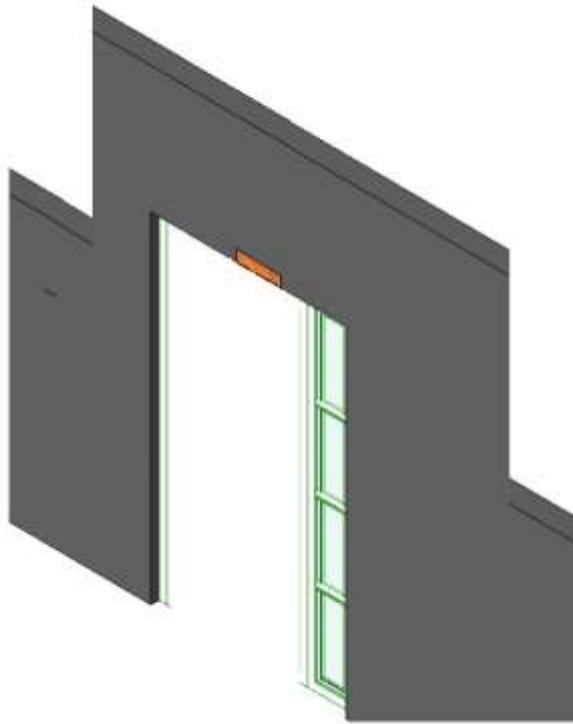
$$Energía (E) = D * t \quad \text{Ecuación 17}$$

$$Energía (E) = 15W * 6h = 90 Wh$$

8.4.3. Ubicación de la lámpara

La lámpara de bajo consumo seleccionada se coloca en la parte superior de la puerta de entrada peatonal del bloque B, como se aprecia en el diseño de la Figura 34.

Figura 34. Ubicación de la lámpara de bajo consumo



Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

8.5. Diseño de la generación de energía del sistema piezoeléctrico

Los dispositivos piezoeléctricos para seleccionar son los que aprovechan la energía generada proveniente de la actividad del caminar humano, pudiéndose capturar y posteriormente utilizar en la alimentación de dispositivos eléctricos o electrónicos de bajo consumo como son las lámparas de iluminación.

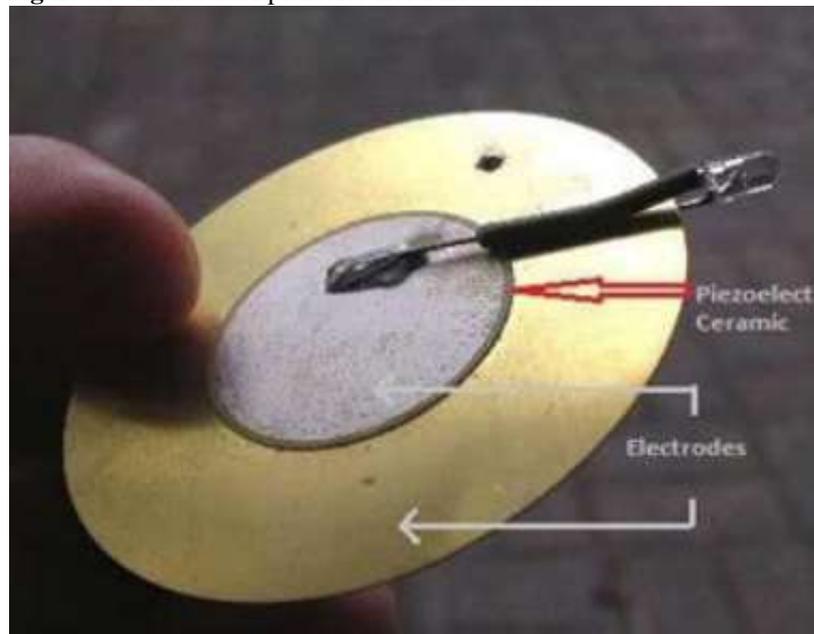
8.5.1. Elección del material de la baldosa piezoeléctrica

La baldosa, al estar colocada en una zona de alto tráfico peatonal sufre de deterioro por la gran cantidad de pisadas y personas que circularán sobre ella, por lo que su implementación requiere de un material resistente a la abrasión. El material con el cual se lleva a cabo la implementación es en la parte superficial con una lámina acrílica plástica fabricado en base a material reciclado y con una placa de madera prensada y por debajo un marco de acero actúa como envolvente para ubicar la disposición de transductores piezoeléctricos, cableado y circuito de salida.

8.5.2. Elección del transductor piezoeléctrico

En este trabajo estamos usando el transductor del tipo PZT Modelo:3B35, debido a la disponibilidad del disco en Ecuador. El transductor cerámico PZT tiene las dimensiones de 9,0 mm x 12 mm, que se une a una placa delgada de latón como se muestra en la Figura 35.

Figura 35. Transductor piezoeléctrico PZT a usarse



Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

Las características principales del transductor son:

Tabla 7. Características principales de transductor piezoeléctrico PZT 3B35

Característica	Valor
Modelo	3B35
Rango de voltaje	1.5 – 15 V
Frecuencia	2.6 KHz
Fuente de corriente	1 mA
Temperatura operación	30 – 80 °C
Diámetro	35 mm

Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

8.5.3. Diseño de la baldosa piezoeléctrica

La baldosa piezoeléctrica es la estructura capaz de contener en su interior al conjunto de transductores y sus elementos de control y conexiones. El diseño realiza contiene 3 niveles:

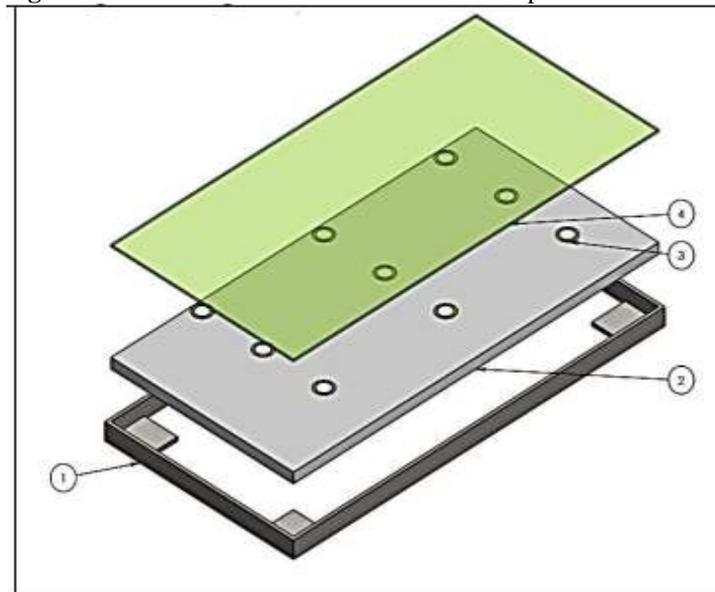
- Nivel Superficial: La cual recibe el contacto del pie con la baldosa. En este caso será la placa con la lámina acrílica.

- Nivel de Generación: Se compone de los 21 discos piezoeléctricos 3B65 apoyado en los extremos de la estructura mecánica.
- Nivel Inferior: Marco de acero con base para albergar los componentes electrónicos para la conversión de energía (condensadores, rectificadores, cableado).

El diseño de la baldosa elegida se muestra en la siguiente Figura 36. De las características de la baldosa se tiene que:

- Sus dimensiones son 30 x 60 cm
- Estructura de soporte metálica con una base MDF superior de 15 mm
- Cubierta acrílica
- Los 21 sensores piezoeléctricos están uniformemente distribuidos
- Voltaje promedio 5.6 V al conectar sus sensores en paralelo, 16,18 al conectarlos en serie y 6,96 en distribución mixta.
- Potencia de salida por pisada aproximada 0,009 W

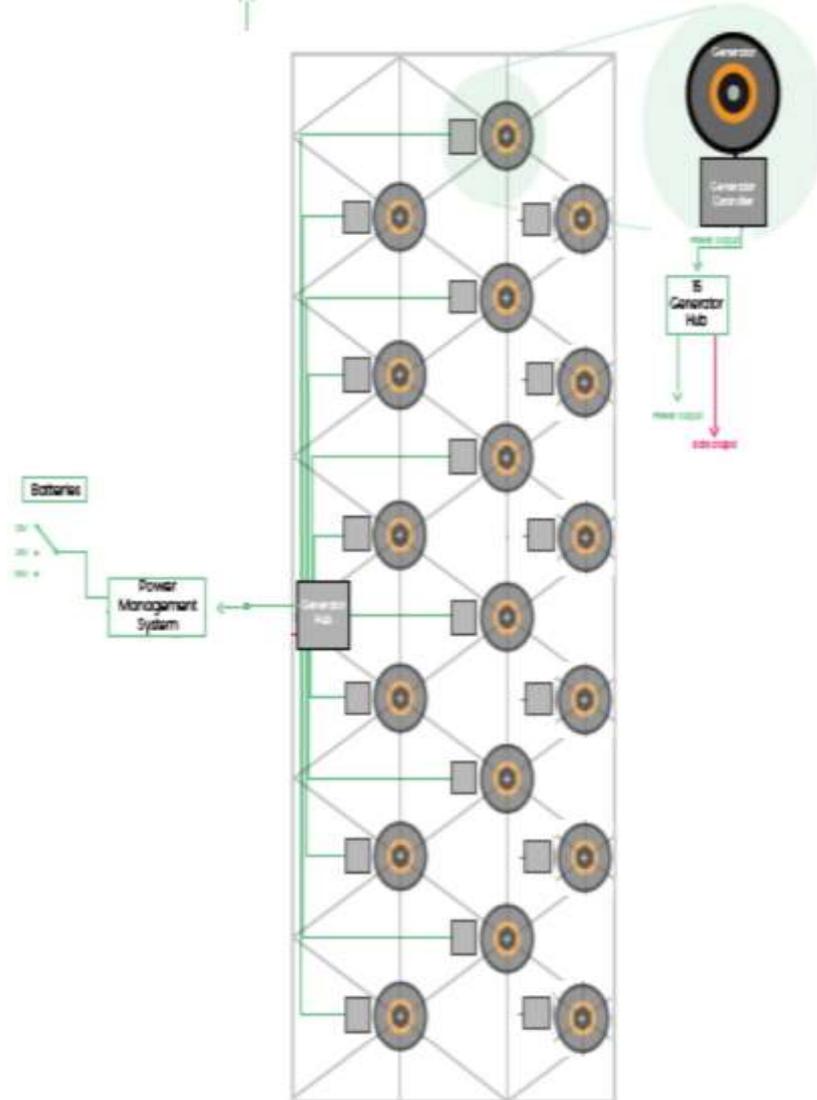
Figura 36. Diseño de la estructura de la baldosa piezoeléctrica forma rectangular 30x60cm



Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

Del mismo modo la disposición de los 21 transductores se aprecia en la Figura 37.

Figura 37. Disposición y cantidad de celdas en una baldosa piezoeléctrica



Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

8.5.4. Disposición física del sistema

Para la selección de las baldosas piezoeléctricas se considera disponer de un área de ancho de 1.20m, largo de 3m, que de 3,60 m² como se observa en la Figura 38. Sobre esta área se coloca el número de módulos de baldosas piezoeléctricas necesarias para cubrir la distribución y logren capturar el mayor volumen de circulación peatonal.

Figura 38. Disposición física del lugar y dimensión para colocación del sistema



Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

La disposición de las baldosas en el área útil de 1,20 m x 3 m que nos da un área de 3.60 m². Este espacio da lugar a la colocación de 15 baldosas piezoeléctricas colocadas tres por columna y 5 por fila.

8.5.5. Cálculo de la energía generada por el conjunto de baldosas piezoeléctricas

Teniendo en cuenta las premisas expuestas anteriormente que:

- La longitud promedio del paso de una persona es de 0,50 metros,
- Las constancias de la caminata son equivalentes a hacer 2 pasos/segundo

Se tendría que el número de pasos que una persona realizaría sobre la plataforma piezoeléctrica se determinará mediante la siguiente ecuación:

$$\# \text{ de pasos} = \frac{\text{Longitud lateral de conjunto}}{\text{Longitud de paso por persona}} \quad \text{Ecuación 18}$$

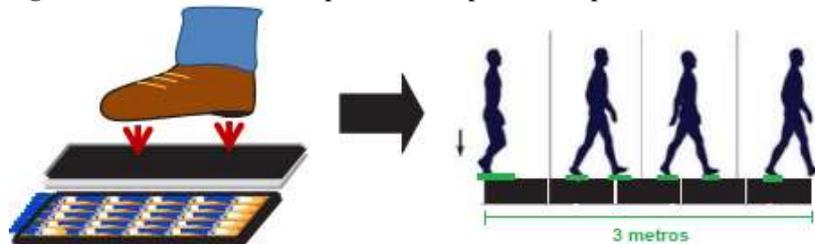
$$\# \text{ de pasos} = \frac{3 \text{ m}}{0.5 \text{ m}} = 6 \text{ pasos}$$

Con el valor del número de pasos por persona que se estima reciba el conjunto piezoeléctrico y con el valor de la Ecuación 12 de la media del flujo peatonal por hora, se estima el promedio de pasos por cada hora es:

$$\text{Media de pasos}_{\text{hora}} = \text{Media de personas}_{\text{hora}} * \# \text{ de pasos} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$\text{Media de pasos}_{\text{hora}} = 125 * 6 = 755 \text{ pasos}$$

Figura 39. Estimación de las pisadas en la plataforma piezoeléctrica



Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

La energía generada por hora depende de la potencia generada de cada baldosa, en nuestro caso la baldosa seleccionada genera 9 mW, teniendo 15 baldosas por cada pisada o paso, se obtiene:

$$\text{Potencia por paso} = 9 \text{ mW} * 15 \text{ baldosas} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$\text{Energía}_{\text{hora}} = \text{Potencia por paso} * \text{Media de pasos}_{\text{hora}} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$\text{Energía}_{\text{hora}} = 135 \text{ mW} * 755 \text{ pasos/hora}$$

$$\text{Energía}_{\text{hora}} = 102 \text{ Wh}$$

El valor de 102 Wh es teórico con fines de dimensionar dispositivos, ya que una persona no podría pisar a la vez seis veces la plataforma.

Por lo que la energía que se genera al día de la plataforma de baldosas piezoeléctricas se obtiene multiplicando la Energía por hora, por el número de horas que la plataforma recibe pisadas; es decir 16 horas.

$$\text{Energía}_{\text{día}} = \text{Energía}_{\text{hora}} * \# \text{ horas generación} \quad \text{Ecuación 22}$$

$$Energía_{día} = 102 Wh * 16$$

$$Energía_{día} = 1630 Wh$$

8.6. Diseño del almacenamiento de energía

8.6.1. Selección de la capacidad y tipo de batería

El almacenamiento de la carga generada por el sistema piezoeléctrico nos permite para conservar en la medida de lo posible una cierta cantidad de la energía producida, para utilizarla cuando se requiera o ante variaciones en el sistema generador.

Para el proceso de selección de la batería adecuada se requiere considerar la carga de iluminación proyectada, la autonomía que se requiere del sistema y la tensión nominal de la batería a elegir de 12 Vdc, aplicando la siguiente ecuación para estimar la capacidad del sistema de almacenamiento, obtenemos su capacidad:

$$Capacidad\ batería[Wh] = Energía\ por\ día_{iluminación} * Autonomía(días)$$

Ecuación 23

$$Capacidad\ batería[Wh] = 90 Wh * 1 día$$

$$Capacidad\ batería[Wh] = 90 Wh$$

La unidad de capacidad de las baterías en términos comerciales es en [Amperio-hora], por lo que se divide la capacidad en [Watts-hora] por el voltaje así:

$$Capacidad\ batería[Ah] = Capacidad\ batería[Wh]/Voltaje$$

Ecuación 24

$$Capacidad\ batería[Ah] = \frac{90 Wh}{12 V}$$

$$Capacidad\ batería[Ah] = 7,5 Ah$$

De las baterías del mercado, se tiene la batería de la Marca YUASA NP7,5-12 de ciclo profundo de 12 volts nominales y 7,5 Ah, con capacidad de 3200 ciclos y vida útil de 5 años de acuerdo con lo indicado por su fabricante. Se muestra en la Figura 40.

Figura 40. Batería para almacenamiento de carga sistema piezoeléctrico



Fuente. (Yuasa, 2022)

8.6.2. Determinación del tiempo de carga de la batería

En este punto, como nuestro planteamiento es almacenar la energía generada por cada pisada, en la batería recargable que tiene voltaje nominal de 12V y una carga de 7.5Ah, el tiempo empleado para cargar la batería sería:

$$\text{tiempo carga} = \frac{\text{Capacidad de la batería}}{\text{Capacidad del regulador de carga}} \quad \text{Ecuación 25}$$

$$\text{tiempo carga} = \frac{7,5 \text{ Ah}}{0,56 \text{ A}} = 13,39 \text{ horas}$$

Si la capacidad de la batería elegida es de 7,5 Ah, y la capacidad del regulador de carga que es la corriente I_{out} máxima a la salida del regulador de carga, producto de las pisadas en la plataforma piezoeléctrica. Entonces se obtendría que el tiempo de carga (h) sería aproximadamente 13 horas.

8.6.3. Determinación del tiempo de descarga

El tiempo de descarga corresponde al tiempo en que la batería es capaz de entregar la energía disponible la carga conectada. Como la capacidad de la batería es de 7,5 Ah y la carga de 15W que consume 1,25 A, el tiempo empleado para descargar la batería sería:

$$\text{tiempo descarga} = \frac{\text{Capacidad de la batería}}{\text{Capacidad del regulador de carga}} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$\text{tiempo descarga} = \frac{7,5 \text{ Ah}}{1,25 \text{ A}} = 6 \text{ horas}$$

8.1. Diseño del regulador de tensión

De los componentes complementarios al sistema de generación piezoeléctrico se tiene el regulador de tensión, es el equipo que permite mantener un nivel de voltaje adecuado a la batería para su carga.

El equipo se dimensiona para que soporte hasta una intensidad máxima de corriente y se puede estimar mediante la ecuación:

$$\text{Intensidad máxima regulador} = \frac{\text{Potencia máx generada}}{\text{Voltaje}} \quad \text{Ecuación 27}$$

La potencia máxima generada es la potencia instantánea máxima que puede generar la plataforma piezoeléctrica, si cada baldosa puede generar 9 mV y multiplicando la potencia por cada baldosa por el número de pasos por hora de 755 pasos por hora, tenemos una *Potencia máx generada* = 6,79 W, resolviendo tenemos:

$$\text{Intensidad máxima regulador} = \frac{6,79 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 0,56 \text{ A}$$

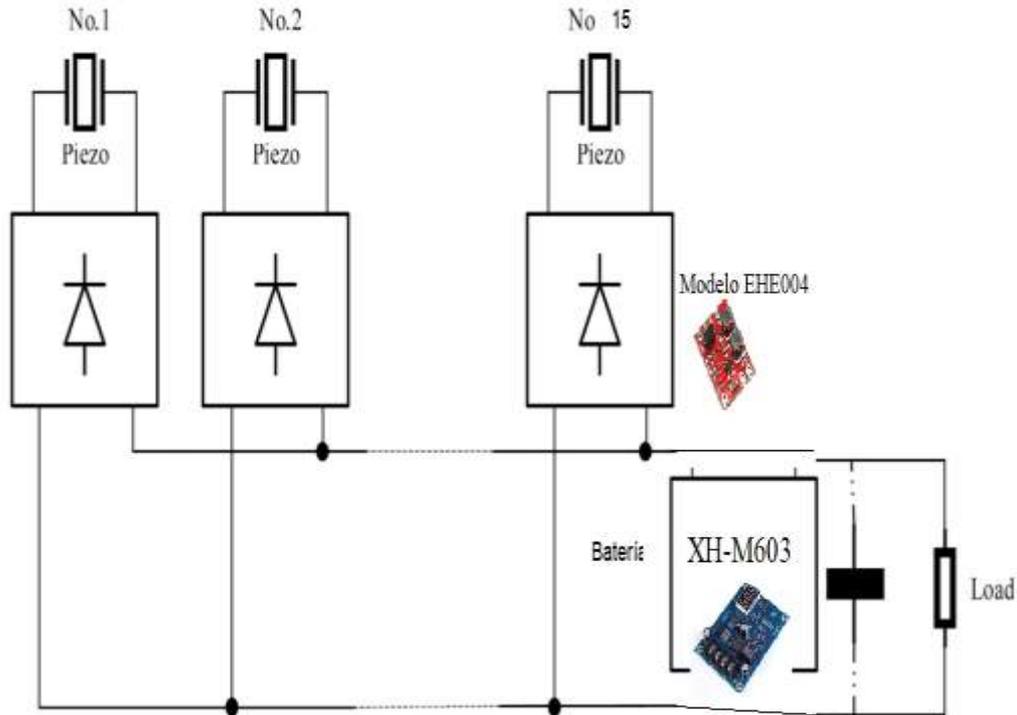
El equipo de regulador de tensión de carga es un dispositivo que posee en su interior un sistema de rectificación AC/DC con un rectificador de onda completa compuesto por diodos, los cuales se encargan de convertir la señal alterna en señal continua, junto con un condensador que se ocupa del filtrado. Posteriormente la señal pasa a un convertidor DC/DC que tiene como tarea acondicionar la señal continúa obtenida del rectificador a la requerida a la carga o batería.

El diagrama del circuito para el control de regulación de voltaje y corriente de la plataforma se aprecia en la que se observa en la Figura 41. Los dispositivos Modelo EHE004 y el Modelo XH-M603 se encarga del control del suministro de energía desde la batería a la carga.

El modo de funcionamiento, explica que la potencia que se genera se permite tenerla reservada en un medio de almacenamiento hasta que el convertidor pueda transferir de manera eficiente

una porción de la carga generada a el elemento pasivo. La salida del circuito integrado se puede regular para que entregue un voltaje de 12 Vdc, y una corriente de 2 A.

Figura 41. Circuito de captación regulador de tensión. Salida 12 Vdc



Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

8.2. Implementación del sistema piezoeléctrico

El sistema diseñado tiene la capacidad de almacenar la energía recolectada durante todo el día de las pisadas del flujo de estudiantes que entran y salen del bloque B de la universidad para su uso posterior que se dará durante la noche de una de lámparas LED.

8.2.1. Armado de la baldosa piezoeléctrica

La baldosa piezoeléctrica seleccionada es armada e inspeccionada. Se revisa la superficie exterior de pisada de acuerdo a la Figura 42.

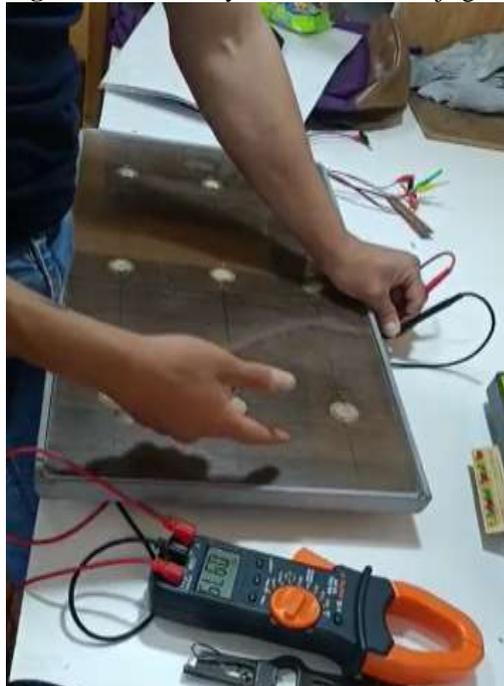
Figura 42. Armado y prueba de cubierta exterior de baldosa piezoeléctrica



Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022).

Posteriormente se mide la generación de sus sensores piezoeléctricos como se aprecia en la Figura 43, la baldosa cuenta con 21 sensores piezoeléctricos del tipo de cerámica tipo PZT-3b35, la cual entregará una señal alterna de acuerdo con las deformaciones generadas por cada pisada.

Figura 43. Armado y medición de voltaje generado en baldosa 30 x 60cm



Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022).

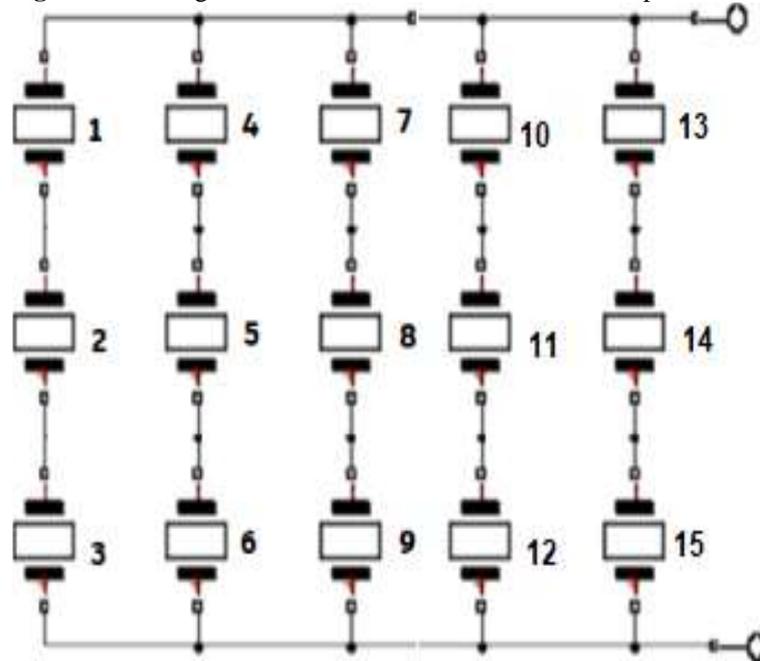
8.2.2. Configuración del área de generación piezoeléctrica

El sistema consta con un total de 15 baldosas piezoeléctricas puesta estratégicamente en la entrada principal de la universidad y ocupando un área de 3,60 m².

La configuración de las baldosas es mixta, con tres en serie y estas en paralelo como se aprecia en el esquema de la Figura 44, estas 15 baldosas recogen la energía de las pisadas y alimentan a la batería seleccionada para controlar la lámpara Led implementada.

La potencia que entrega el conjunto es receptada en dos borneras, las cuales se interconectan con el regulador de carga que cuenta cada baldosa.

Figura 44. Configuración de la colocación de las baldosas piezoeléctricas



Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022).

9. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

9.1. Análisis de las características de la baldosa piezoeléctrica

La implementación de la plataforma piezoeléctrica se logró con un arreglo de prototipo de baldosa piezoeléctrica de medidas de 30 x 60 cm.

Se evaluó la calidad de la estructura de manera visual, así como la integridad de la placa superficial fabricada a partir de plásticos reciclados (30% polipropileno, 30% Polietileno de

alta densidad y 40% Polietileno de baja densidad). De la construcción realizada se espera una vida útil de 10 años ya que se ubica en una zona de alto tráfico.

Figura 45. Baldosa piezoeléctrica y transductores implementados

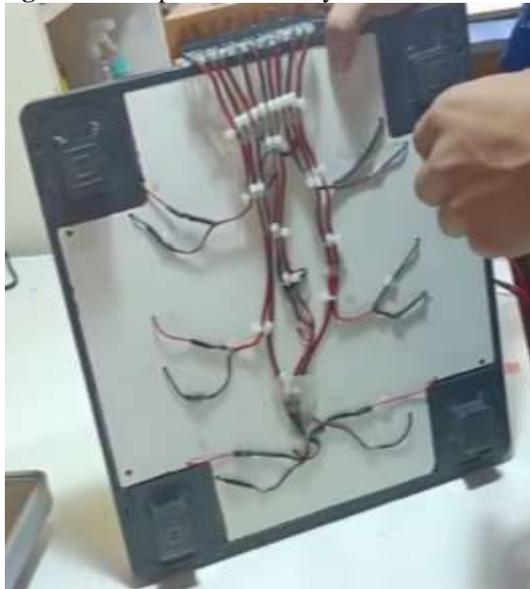


Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

La disposición de los 21 piezoeléctricos se encuentra correctamente colocados de acuerdo al diseño planteado en la estructura y apoyados sobre la base de MDF como se muestra en la Figura 45.

Las interconexiones de los dispositivos piezoeléctricos se realizaron de manera mixta serie-paralelo con un cable flexible Nro. 18 AWG como se muestra en la Figura 46.

Figura 46. Disposición física y conexionado de sensores piezoeléctricos



Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

9.2. Análisis de la generación eléctrica de una baldosa

La primera prueba realizada fue la aplicación de una fuerza a la baldosa y seguidamente la una pisada de una persona que pesa 68 Kg y genera una fuerza aproximada de 833.56 N. Los valores nos permitieron corroborar del valor de voltaje por baldosa detallado en los cálculos y estimaciones. La primera prueba que se realizó al piezoeléctrico fue con el pie para así observar sus propiedades de la baldosa piezoeléctrica, el hundimiento y el voltaje que genera como se muestra en la Figura 47 y 48. La prueba consistió en:

Pisada de una persona de peso promedio 50 Kg

Voltaje obtenido = 3,23 V

Corriente obtenida = 0,0025 A

Se calcula la potencia de salida de la baldosa: $P = 3,23 \text{ V} * 0,0025 \text{ A} = 0,008 \text{ W}$.

Figura 47. Medición del voltaje de salida al aplicar una fuerza con el pie



Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

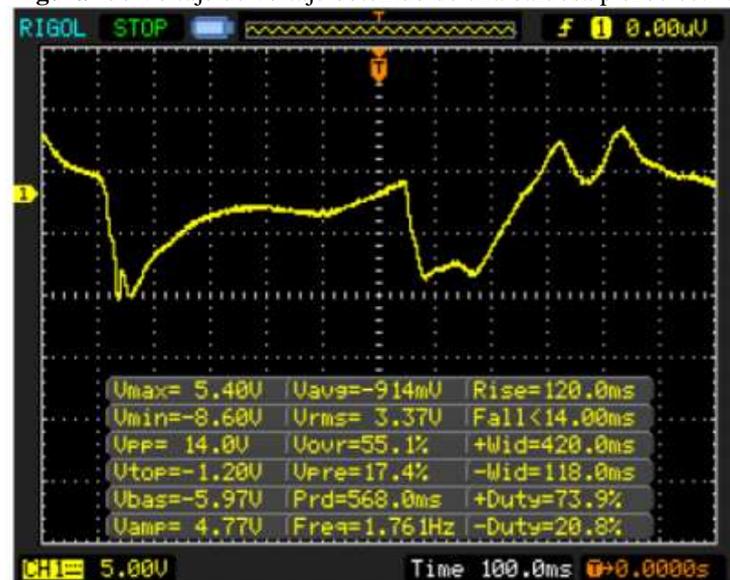
Figura 48. Medición del voltaje de salida al aplicar una fuerza con el pie



Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

Posteriormente, se realiza pruebas en repetidas ocasiones, aplicando pesos de diferente magnitud en cada una de ellas, los resultados de la medición continua y captura de datos de voltaje en la baldosa, teniendo el resultado de un voltaje máximo de 5.40 V con variaciones de duración de 420 ms, que es casi un equivalente a 0,5 seg. Esto concuerda con el análisis para obtener energía de los pasos de una persona, donde se estimó que una persona puede dar 2 pasos/segundo. Los valores obtenidos se pueden apreciar en la Figura 49.

Figura 49. Voltaje de voltaje obtenido de una baldosa piezoeléctrica



Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

9.3. Análisis de la generación del conjunto de baldosas interconectadas

Con el fin de obtener una adecuada producción y eficiencia sin desaprovechar ningún espacio del potencial de generación, se buscó toda el área potencial para la ubicación de las baldosas. En nuestro caso, del área disponible a la entrada del edificio, que cuenta con un total de 3,60 m². Para determinar la cantidad de baldosas que se utilizarían se tomó el área de la baldosa y se multiplicó por un número entero que ajuste al valor del área disponible.

Posteriormente, se realiza una prueba en toda la plataforma piezoeléctrica que contiene a las baldosas colocadas en serie-paralelo como se indicó en el diseño experimental.

La prueba consistió en someter a la plataforma a distintas pisadas para obtener los datos de voltaje y corriente. Se recopiló información de 24 mediciones realizadas con multímetro; se obtuvo valores de voltaje y se realizó el cálculo de la potencia que se ubica en la cuarta columna de la siguiente tabla.

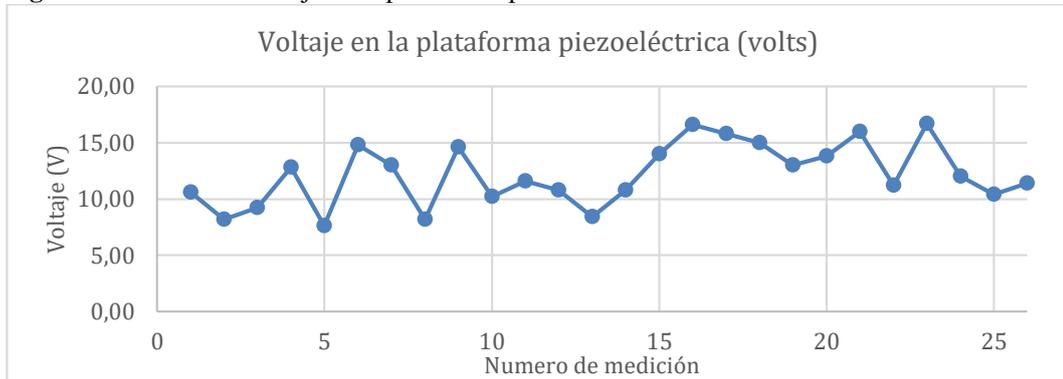
Tabla 8. Tensiones piezoeléctricas – fuerza del pie

Medición	Tensión (volts)	Corriente	Potencia
1	10,60	0,0034	0,04
2	8,20	0,0010	0,01
3	9,20	0,0031	0,03
4	12,80	0,0027	0,03
5	7,60	0,0023	0,02
6	14,80	0,0039	0,06
7	13,00	0,0032	0,04
8	8,20	0,0018	0,01
9	14,60	0,0023	0,03
10	10,20	0,0051	0,05
11	11,60	0,0044	0,05
12	10,80	0,0037	0,04
13	8,40	0,0045	0,04
14	10,80	0,0028	0,03
15	14,00	0,0010	0,01
16	16,60	0,0047	0,08
17	15,80	0,0052	0,08
18	15,00	0,0040	0,06
19	13,00	0,0030	0,04
20	13,80	0,0026	0,04
21	16,00	0,0012	0,02
22	11,20	0,0024	0,03
23	16,70	0,0026	0,04
24	12,00	0,0027	0,03
25	10,40	0,0023	0,02
26	11,40	0,0042	0,05

Fuente: Autor

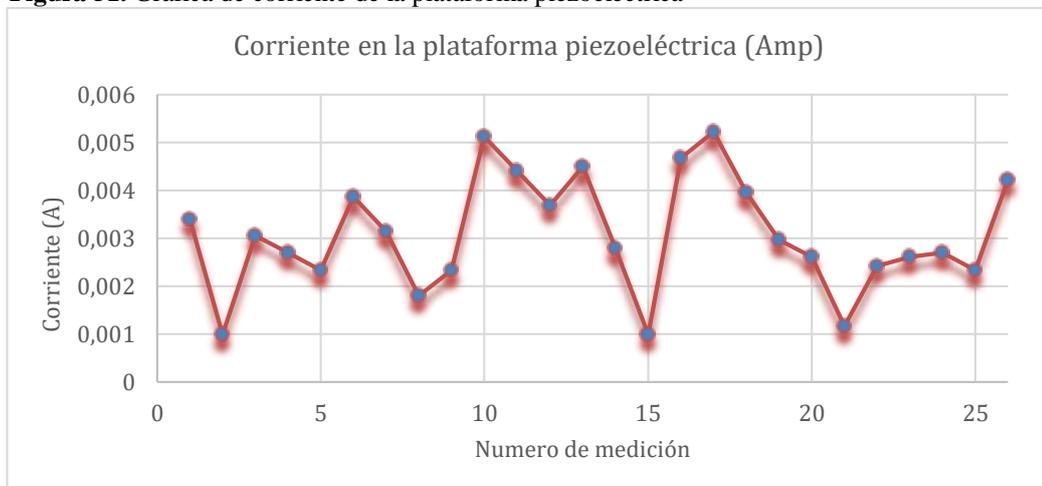
De la tabla obtenida se puede apreciar los valores de voltaje y corriente mediante las siguientes gráficas:

Figura 50. Gráfica de voltaje de la plataforma piezoeléctrica



Fuente: (Caldaz y Jácome, 2022)

Figura 51. Gráfica de corriente de la plataforma piezoeléctrica

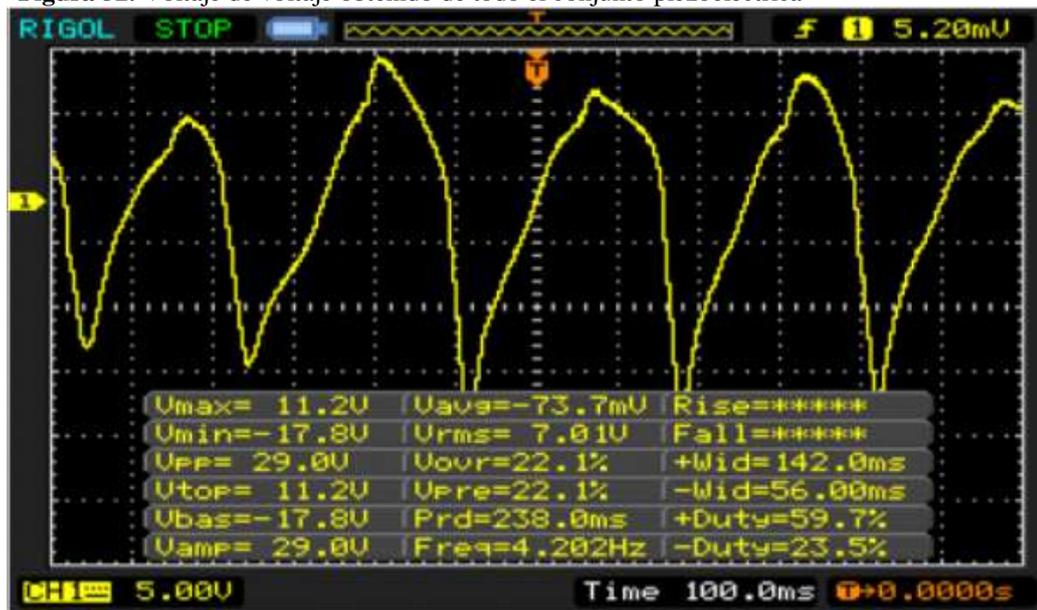


Fuente: Autor

Con ello se observa que a la plataforma de baldosas piezoeléctricas aplicándole distintos pesos de distintas pisadas obtenemos un voltaje promedio de 12,18 V. Los valores de la potencia calculas en las mediciones indican una potencia promedio de 0,04 W.

Del mismo modo se realiza las mediciones de manera continua en el osciloscopio. Los resultados de la medición continua y captura de datos de voltaje de todo el conjunto ante diversas pisadas nos entrega como resultado, teniendo el resultado de u voltaje máximo de 11,2 V con variaciones de duración de 112 ms, entre picos. Los valores obtenidos se pueden apreciar en la Figura 52.

Figura 52. Voltaje de voltaje obtenido de todo el conjunto piezoeléctrica



Fuente: Autor

9.4. Análisis real de la producción de energía

Conociendo el valor que se genera por pisada cada baldosa, y los valores promedio que se generan en la plataforma se obtiene la cantidad de energía que se generara potencialmente en todo el conjunto.

Con lo anterior, si se relaciona, el número de pisadas por hora que recibe el conjunto piezoeléctrico con la potencia promedio obtenida en el punto anterior, podemos calcular de una manera muy acertada la cantidad de energía que se produce por cada hora de la siguiente manera:

$$\text{Potencia promedio de plataforma} = 0,04 \text{ W} \quad \text{Ecuación 28}$$

$$\# \text{ pisadas por persona por hora} = 755 \text{ pisadas} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$\text{Energía_hora} = 0,04 \text{ W} * 755 \text{ pisadas} = 30 \text{ Wh} \quad \text{Ecuación 30}$$

Los datos de tránsito peatonal tienden a generar un patrón y ser constantes, por ende, para hallar la producción energética mensual y semestral. Respecto a lo anterior, como se muestra en la tabla 9, la energía generada por el sistema de baldosas en la rampa es de 30 Wh.

Tabla 9. Valores de producción de energía en plataforma

Área de la plataforma	Producción de energía por pisada	Producción de energía por m2
3,60 m2	0,009 W	0,04 W
Energía generada por la plataforma por hora		
E = 0,04 W * 755 pasos/hora = 30 Wh		

Fuente: Autor

El valor de 30 Wh es un valor real de la producción de energía por hora diaria, a diferencia del valor de 102 Wh calculado teóricamente debido a la medición realizada.

La energía por día se obtiene multiplicando:

$$Energía_{día} = 30 Wh * 16 horas = 480 Wh \quad \text{Ecuación 31}$$

$$Energía_{mes} = 480 Wh * 30 días = 14400 Wh \quad \text{Ecuación 32}$$

$$Energía_{semestre} = 480 Wh * 4 meses = 57600 Wh \quad \text{Ecuación 33}$$

El ahorro y uso que se le puede dar a la energía es representativo. Se puede encender la lámpara colocada e incluso el sistema abastece para colocar más cargas de iluminación en la entrada o en los parqueaderos.

9.5. Análisis del consumo de energía

El sistema de iluminación requiere una potencia de 15W, y al tenerlo energizado durante 6 horas al día consume:

$$Energía_{(lámpara_día)} = 15W * 6 h \quad \text{Ecuación 34}$$

$$Energía_{(lámpara_día)} = 90 Wh$$

Al aproximar el uso por los 30 días del mes se calculó el consumo de energía aproximado del mes es de:

$$Energía_{(lámpara_mes)} = Energía_{(lámpara_día)} * 30 días \quad \text{Ecuación 35}$$

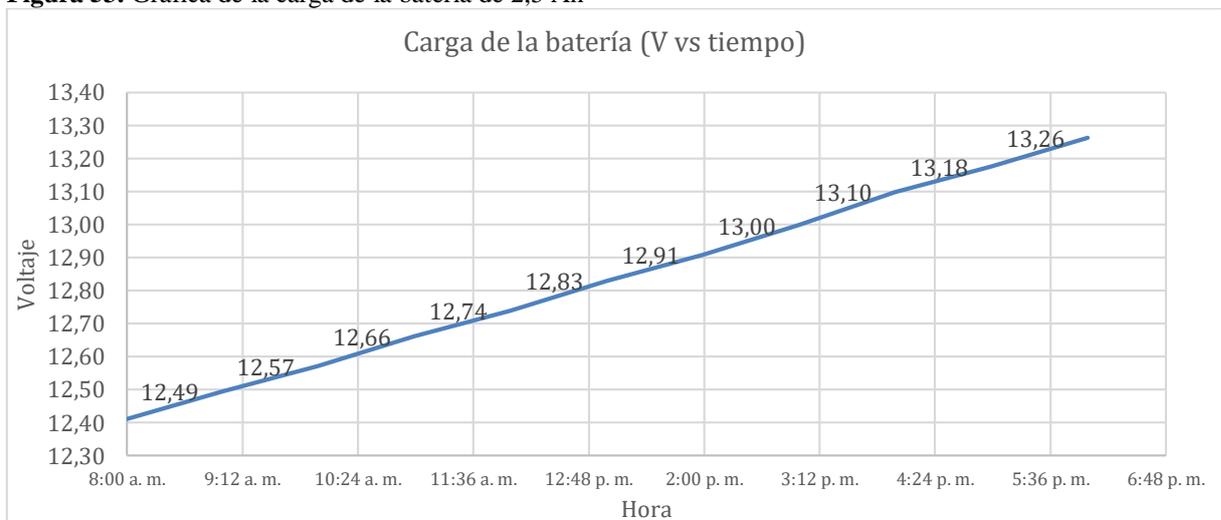
$$Energía_{(lámpara_día)} = 2700 Wh = 2,7 KWh$$

9.6. Análisis del sistema de carga y descarga de baterías

Se realiza la comprobación del estado de carga de la batería antes de conectarla al sistema. La primera prueba de la batería nos da un valor de 12.4 V.

Los valores de carga de la batería una vez conectado al sistema del generador + la iluminación, se detalla en la Figura 53, donde se aprecia que el voltaje se incrementa de manera muy lenta. La medición de carga se realizó de 8am a 6pm, en un período de 10 horas. Se tiene en cuenta que la lámpara no se encuentra encendida, por lo que el proceso corresponde únicamente a la carga de la batería. La batería alcanzó un voltaje de 13,26 voltios.

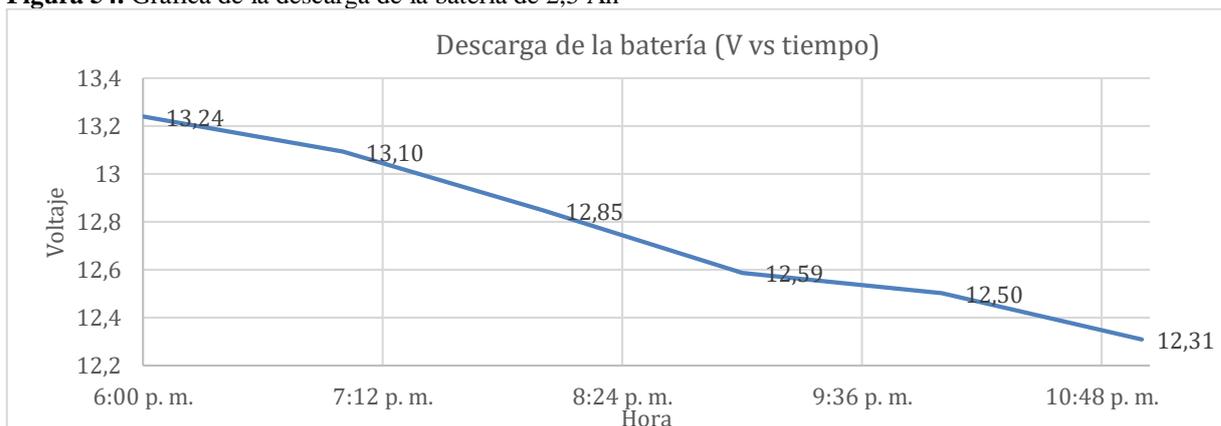
Figura 53. Gráfica de la carga de la batería de 2,5 Ah



Fuente: Autor

Los valores de descarga de la batería una vez que la iluminación se enciende desde las 6pm hasta las 12pm se detalla en la Figura 54, donde se aprecia que el voltaje se decrementa, se tiene un voltaje de medida de 13,24 V o termina con un voltaje de 12,31 V.

Figura 54. Gráfica de la descarga de la batería de 2,5 Ah



Fuente: Autor

De los resultados y cálculos realizados se evidencia que la batería para cargarse completamente demora 7,14 horas. Por lo que al tener el sistema recibiendo energía desde las 6 am hasta las 10pm producto de las pisadas de los estudiantes su cumple el tiempo suficiente para su carga. En la descarga con la iluminación de 15W conectado desde las 6pm hasta las 23:59pm, se produjo la descarga de la batería desde los 13,24V y terminó con un voltaje de 12,31V. Este valor indica que no se a descargado la batería completamente.

10. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

10.1. Impacto Técnico

El sistema implementado cumple con las especificaciones técnicas de generación de energía. Se realiza los cálculos y dimensionamiento de equipos en base a información técnica y se comprueba la viabilidad mediante mediciones. Se cumple con las normas de seguridad y de implementación nacional y pueden ser sujetos de inspección y auditoría por parte de organismos internos o externos. Se ha aplicado todos los conocimientos técnicos tanto en la implementación como en el diseño de los planos eléctricos.

10.2. Impacto social

Al ser un sistema nuevo innovador brinda un aporte social a las personas que lo hacen uso. Promueve un mejor estilo de vida en cuanto a niveles de satisfacción de iluminación y confort. Un sistema renovado y etiquetado de manera correcta ayuda para que los usuarios tengan presente el tipo de infraestructura donde se encuentran. Del mismo ayuda a todos los estudiantes de la carrera de Electromecánica a conocer un sistema de generación correctamente implementado.

10.3. Impacto ambiental

El presente proyecto tiene un impacto ambiental y visual en las personas que asisten al Bloque B. A su contribuye al medio ambiente y provee de recursos de energías limpias a la institución. A su vez una correcta instalación ahorra costos de energía que en ocasiones se hace uso de combustibles fósiles para la generación en las centrales.

10.4. Impacto económico

Se crea una cultura de ahorro energético por medio de uso de fuentes de generación limpia que realizando estimaciones de consumo en el largo plazo representan ahorros en el costo y pago de la energía eléctrica.

11. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Dentro de la implementación y readecuación del sistema se considera el costo de los materiales y adicionales; en la tabla 10 mostraremos las partes más importantes que componen el sistema.

Tabla 10. Presupuesto de la implementación del proyecto

PRESUPUESTO DE MATERIALES Y ADICIONALES			
CANTIDAD	PRODUCTO	P. Unitario	TOTAL
9	Baldosas Piezoeléctricas nacionales	89,0	801,0
1	Batería 12V, 7 Ah, ciclo profundo	56,0	56,0
1	Regulador DC/DC	23,9	23,9
2	Break 2 polos	7,1	14,3
1	Lampara LED 5 W, 1500 Lm	6,5	6,5
40	Cable eléctrico 14 AWG, TW	1,2	48,0
1	Cajetín plástico 15x15cm sobrepuesto	2,2	2,2
3	Pintura	1,5	4,6
1	Adecuación de suelo	120,0	120,0
20	Taco Fisher 5-6	0,0	0,8
20	Tornillos	0,0	0,6
1	Multímetro con pinza amperimétrica	45,0	45,0
SUBTOTAL 12%			1122,8
TOTAL			1257,6

Fuente: Autor

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1. CONCLUSIONES

El trabajo desarrollado fue centrado en el análisis de la implementación de un novedoso sistema de generación de energía llamada piezométrica. Con el estudio de cómo funciona la tecnología y las pruebas se demuestra que existen distintas formas de conversión y obtención de energía de las convencionales y que se pueden aprovechar y almacenar en baterías para su posterior utilización.

Del trabajo se demuestra que la producción de energía con los sensores piezométricos es baja, obteniendo valores pequeños de energía, pero suficientes para alimentar cargas de iluminación, en nuestro caso con el sistema de 15 baldosas piezoeléctricas nos sirve para alimentar una lámpara LED de 15 W, 1550 Lm, que es considerada una carga de bajo consumo, en base a futuros estudios y datos de fabricantes se espera conseguir una mayor producción de energía.

Del sistema, se logra demostrar que se puede configurar y colocar el conjunto de sensores o baldosas en serie, paralelas o mixtas y funciona muy parecido a otros sistemas; únicamente variando la forma en que se colocan el voltaje recibido aumenta o disminuye. Las baldosas conectadas en una configuración mixta permitieron generar una potencia promedio de 0,04 W por cada pisada.

Las pruebas permitieron comprobar la efectividad del sistema, lo logró encender la carga de iluminación proyectada. Como la limitación más importante se encontró que la baja potencia obtenida por los elementos piezoeléctricos fue la principal limitación para no poder abastecer un sistema de iluminación convencional o una carga mayor. A su vez el ahorro de energía que se puede conseguir permite en un largo plazo reducir el valor de la factura de la red pública.

12.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda promover ensayos de laboratorio con baldosas de distintos fabricantes y taller y tipos para comprobar con cuáles se puede tener un mejor aprovechamiento del sistema.

Se recomienda que no se conecten cargas de iluminación mayores a la actualmente se encuentra implementada ya que el sistema no puede abastecer la cantidad de energía que pudiera necesitar.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adina, P., Paul Petrica, P., Latinovic, T., & Barz, C. (2015, agosto). Research about harvesting energy devices and storage method.
- Agatón, F. (2014). Análisis de la factibilidad económica y ambiental de utilizar baldosas piezoeléctricas en el campus de la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG). Universidad Militar Nueva Granada (UMNG). <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/12025>
- Arévalo, L., & Lamprea, D. (2019). Diagnóstico para la implementación de baldosas piezoeléctricas como alternativa de energía renovable en la Universidad Santo Tomás Villavicencio Campus Aguas Claras [UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS]. <https://library.co/document/oz1n35dy-diagnostico-implementacion-baldosas-piezoelectricas-alternativa-renovable-universidad-villavicencio.html>
- Barrera, A., & Mantilla, M. (2017). Caracterización de parámetros eléctricos de los piezoeléctricos PZT y PVDF utilizados en el mercado colombiano. [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6925/MantillaCasta%C3%B1edaMarlonGiovany2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Calderón, A., & Clavijo, S. (2014). Diseño e implementación de un sistema automático de regulación del alumbrado en un vehículo suzuki forsa I. Universidad del Azuay.
- Dávila, A., Gámez, E., Melo, G., & Pimienta, R. (2019). Desarrollo de un prototipo de losa generadora de energía eléctrica usando sensores piezoeléctricos . V Congreso Internacional de Energías Renovables - CIERG. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-de-la-guajira/administracion-de-procesos-industriales-y-control-de-calidad/desarrollo-de-un-prototipo-de-losa-generadora-de-energia-electrica-usando-sensores-piezoelectricos/7120206>
- Energy Floors. (2022). ENERGY FLOORS Floor system for high footfall areas.
- Energy Harvesting for IoT & Wireless Applications - Electronics Maker. (s/f). Recuperado el 25 de agosto de 2022, a partir de <https://electronicsmaker.com/energy-harvesting-for-iot-wireless-applications>

- García, A. (2012). Electricidad Auto-generada - El tranque en las grandes ciudades podrá ahora generar electricidad - Panama Hitek. <http://panamahitek.com/electricidad-autogenerada-el-tranque-en-las-grandes-ciudades-podran-ahora-generar-electricidad/>
- Gómez Molina, Á. (2018). Diseño de un Sistema de energy harvesting basado en piezoeléctricos [Universidad de Alcalá.]. <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/33621>
- Götze, J. (2012). Classification, Mineralogy and Industrial Potential of SiO₂ Minerals and Rocks. Springer Geology, 1–27. https://doi.org/10.1007/978-3-642-22161-3_1
- Gutiérrez, J. R. (2017). Recolectores de Energía Piezoeléctricos . Universitas Malacitana. https://www.uma.es/media/files/Poster_LSAUBC_IT_2016_4.pdf
- HBM Company. (2022). ¿Cómo funciona un transductor de fuerza piezoeléctrico? | HBM. <https://www.hbm.com/es/7318/como-funciona-un-transductor-de-fuerza-piezoelectrico/>
- Innowattech. (2022). Innowattech | Harvesting mechanical energy from roadways to produce electricity « Kurzweil. <https://www.kurzweilai.net/innowattech-harvests-mechanical-energy-from-roadways>
- iSO 3685:1993. (1993). ISO - ISO 3685:1993 - Tool-life testing with single-point turning tools. <https://www.iso.org/standard/9151.html>
- Jiménez Martínez, F. J., de Frutos, J., Alonso, D., & Vázquez, M. (2015). Optimización de piezoeléctricos comerciales para su uso en sistemas de Energy Harvesting. Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 54(6), 247–253. <https://doi.org/10.1016/J.BSECV.2015.09.001>
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2018). Manufactura, Ingeniería y Tecnología (Prentice Hall, Ed.; Quinta, Vol. 5). https://www.academia.edu/44318116/ManufacturA_INGENIER%C3%8DA_Y_TecNOLOG%C3%8DA
- Ley de Ohm - Inventable. (2021). Creative Commons BY_NC_SA. <https://www.inventable.eu/ley-de-ohm/>
- Martín, A., Tutor, M., Javier, D., & Cuadros, U. (2018). Aplicaciones del efecto piezoeléctrico para la generación de energía. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/28848>

- Pérez, M. (2016). Capítulo 4: Convertidores DC-DC. http://profesores.elo.utfsm.cl/~mpl/wp-content/uploads/2016/09/elo381_capitulo_04_convertidores_DC-DC.pdf
- Pérez Pineda, E., & Velázquez Alfaro, S. (2017). Diseño e implementación de un generador piezoeléctrico baldosa, para alimentar un sistema de iluminación de Baja Potencia. [Instituto Politécnico Nacional, ESIME]. <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/21498>
- Rashmi, B., Nitin Y, V., Partha, G., Alan, H., Agathe, R., Huilin, T., & Nathan, W. (2017). Inteligencia en materiales innovadores. <https://silo.tips/download/inteligencia-en-materiales-innovadores>
- Rectificadores y sus aplicaciones – Capacitación Técnica. (2021). <https://capacitaciontecnica.com.ar/2021/01/25/rectificadores/>
- Santacruz, C. (2015). ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE BATERÍAS COMERCIALMENTE DISPONIBLES PARA SU INTEGRACIÓN EN EL PROYECTO DE UNA MICRORRED. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3663/ANA%CC%81LISIS%20TE%CC%81CNICO%20DE%20LOS%20DIFERENTES%20TIPOS%20DE%20BATERIA%CC%81AS%20COMERCIALMENTE%20DISPONIBLES%20PARA%20SU%20INTEGRACION%CC%81N%20EN%20EL%20PROYECTO%20DE%20UNA%20MICRORRED%20AISLADA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Saucedo, L., & Bosques, J. L. (2020). Electricidad básica. Ternium. https://www.trabajosocial.unlp.edu.ar/uploads/docs/electricidad_basica_ii.pdf
- Soria González, W. I. (2019). Investigación del aporte energético en la utilización de la baldosa piezoeléctrica como una fuente de energía renovable para alimentar sistemas eléctricos de iluminación de bajo consumo [Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
- Sotelo Delgadillo, R., & Nieto Cañón, E. D. (2018). Análisis técnico y económico del potencial de generación eléctrica a través de dispositivos piezoeléctricos [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/15578>
- Starner, T., & Paradiso, J. (2003). Human Generated Power for Mobile Electronics. Low Power Electron. Des., 1990. <https://doi.org/10.1201/9781420039559.ch45>

Tritec Intervento. (2020). Como calcular y diseñar un banco de baterías. <https://tritec-intervento.cl/calculo-y-diseno-de-un-banco-de-baterias/>

Tushar, J. (2016). Piezoelectric Tiles and their modern day applications. <https://drive.google.com/file/d/15gkVZk6JCx8OcwEMY1yAZbvMmd6VD5Pa/view>

Zapata, D. R., & Bustamante, G. (2013). Análisis de viabilidad para desarrollo de prototipo de acera que produce electricidad [Universidad de San Buenaventura]. <http://hdl.handle.net/10819/1319>

14. ANEXOS

Anexo 1. Hoja de vida del tutor

DATOS PERSONALES	
Nombres:	Alex Darwin
Apellidos:	Paredes Anchatipán
Nacionalidad:	Ecuatoriana
Fecha de nacimiento:	21-marzo-1991
Lugar de nacimiento:	Latacunga
Cédula de identidad:	0503614935
Estado civil:	Soltero
Teléfono:	0987259422
Dirección domiciliaria:	Luis A. Rivadeneira y Juan Salinas
Cantón:	Pujilí
Correo electrónico:	alex.paredes4935@utc.edu.ec
ESTUDIOS REALIZADOS	
Instrucción secundaria:	Bachiller Técnico Industrial en Electrónica en el Colegio Particular Técnico Industrial “Hermano Miguel”.
Tercer nivel:	Ingeniero en Electrónica e Instrumentación en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Cuarto Nivel	Máster en Automática y Robótica de la Universidad de Alicante (España)
CERTIFICADOS OBTENIDOS	
<ul style="list-style-type: none">• Curso “Enseñanza Andragógica” por Mindtalent	

- Certificación “Formación de Formadores” por Ministerio de Trabajo del Ecuador.
- Curso “Introducción a IoT” por CISCO Networking Academy.
- Curso “Introducción a la seguridad cibernética” por CISCO Networking Academy
- “Formación de Tutores de Nivelación Especializados en Modalidad en Línea” por la Universidad Internacional de La Rioja UNIR
- “Instalaciones eléctricas domiciliarias” por la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná
- Curso “Protecciones Eléctricas” por la Universidad Técnica de Cotopaxi
- Curso en “Metodología de la Investigación Científica” por CODEPRO Ecuador
- Curso de “Docencia Universitaria” por CODEPRO Ecuador
- Curso de “Auxiliar en Domótica” por la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná con la Corporación COORED
- Curso de “Formulación de Proyectos de Investigación Científica” por la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná
- Curso de capacitación “Comunicación USB con Microcontroladores” por Microchip Technologies.
- Curso de capacitación “Machine Learning aplicado a tecnologías inmersivas para la academia e industria” por La Red Nacional de Investigación y Educación del Ecuador y la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga

Anexo 2. Hoja de vida del estudiante investigador

DATOS PERSONALES

NOMBRES: MARCOS EDUARDO
APELLIDOS: CALDAZ SARMIENTO
CEDULA DE CIUDADANÍA: 0942094137
NACIONALIDAD: ECUATORIANA.
FECHA DE NACIMIENTO: 04 /07/1999
EDAD: 23 AÑOS.
ESTADO CIVIL: SOLTERO.
DIRECCIÓN: AV LIBERTAD Y SANDOBAL PASTOR
CELULAR: 0989468097
EMAIL: marcos.caldaz4137@utc.edu.ec



ESTUDIOS REALIZADOS

PRIMARIA:

- CARLOTA JARAMILLO.

SECUNDARIA:

- COLEGIO TÉCNICO RAFAEL VÁSCONEZ GÓMEZ

TITULO OBTENIDO

- MECÁNICA AUTOMOTRIZ

EXPERIENCIAS LABORALES

- DINAMICAS MERCADO (AGUA SPLENDOR)
- LUBRISERVICIOS SALAZAR.

Anexo 3. Hoja de vida del estudiante investigador

DATOS PERSONALES

NOMBRES: JOSE LUIS
APELLIDOS: JACOME HERRERA
CEDULA DE CIUDADANÍA: 055053938-1
NACIONALIDAD: ECUATORIANA
FECHA DE NACIMIENTO: 31 /10/1997
EDAD: 24 AÑOS.
ESTADO CIVIL: SOLTERO.
DIRECCIÓN: Via. Latacunga – Quevedo Rect. El Progreso
CELULAR: 0963234294
EMAIL: marcos.caldaz4137@utc.edu.ec



ESTUDIOS REALIZADOS

PRIMARIA:

- UNIDAD EDUCATIVA BELISARIO QUEVEDO.

SECUNDARIA:

- UNIDAD EDUCATIVA CMDT. RAFAEL MORAN VALVERDE


TITULO OBTENIDO

- BACHILLER EN CIENCIAS


EXPERIENCIAS LABORALES

- COOPERTATIVA DE TRANSPORTE LA MANA


Anexo 4. Diagrama de flujo de ejecución del proyecto



Proyección
generación de
energía



Proyección
generación de
energía



Anexo 5. Datasheet transductor piezoeléctrico

MODELO: PTZ 3B35 (35mm)




Specification

item	value
Model Number	3B35
Type	Buzzer
Place of Origin	China
	Guangdong
Brand Name	SWT
Material	N/A
Color	Brass
Packaging	N/A
Input Type	VPP
Voltage - Rated	N/A
Voltage Range	1.5~15V
Frequency	2.6KHz
Current - Supply	1mA
Operating Temperature	-30~80
Mounting Type	N/A

Termination	Wires
Size / Dimension	35mm
Height - Seated (Max)	N/A
Voltage - Input (Max)	20V p-p
Impedance	N/A
Capacitance @ Frequency	N/A
Output Type	N/A
Frequency Range	N/A
Height (Max)	N/A
Frequency - Self Resonant	2.6KHz
Efficiency - Type	N/A
Power - Rated	N/A
Power - Max	N/A
Rated Voltage	N/A
Cross Reference	N/A
Type	Buzzer piezo
Size	35mm
Rated Frequency	2.6KHz
Material	Brass and Ceramic
Application	Alarm, Speaker
Function	Sound reminding
Sound Type	Custom
Certification	ISO9001, ISO14001, Rosh
SPL	Min.100db
Connector	Wires soldering


Anexo 6. Diagramas esquemáticos

BALDOSA



DAIAGRAMA DEL SISTEMA PIEZOELECTRICO

Diagrama del prototipo generador piezoeléctrico Se realizó la construcción de un prototipo generador piezoeléctrico para obtener valores más reales y estimar la producción de energía por unidad de área y cantidades de discos piezoeléctricos. Debido a que la polaridad de los discos piezoeléctricos cambia cuando se ejerce y cuando se retira la presión mecánica, se dispuso la conexión de un rectificador de onda completa. Obteniendo una configuración de la forma:



BATERÍA



Yuasa Ficha Técnica

Yuasa YB2.5L-C - Yumicron Batería

Rendimiento

Tensión	12
Capacidad (10-hour)	2.5Ah
Capacidad (20 horas)	2.6Ah
CCA @ -18°C	15A

Dimensiones (±2mm)

Largo	81mm
Ancho	71mm
Alto	106mm

Peso

Peso con Acido	1kg
Volumen de acido	0.25l

Tecnología

Tecnología	Placa Sb/Sb
Separadores	Leaf





Yuasa Technical Data Sheet

Yuasa YB2.5L-C - YuMicron Battery

Performance

Voltage	12
Capacity (10-hour)	2.5Ah
Capacity (20-hour)	2.6Ah
CCA @ -18°C	15A

Dimensions (±2mm)

Length	81mm
Width	71mm
Height	106mm

Weights & Measures

Mean Weight with Acid	1kg
Acid Volume	0.25l

Technology

Technology	Cast Sb/Sb
Separator	Leaf



Circuito DC/DC PARA BALDOSA



LTC3588-1

Nanopower Energy Harvesting Power Supply

FEATURES

- 950nA Input Quiescent Current (Output in Regulation – No Load)
- 450nA Input Quiescent Current in UVLO
- 2.7V to 20V Input Operating Range
- Integrated Low-Loss Full-Wave Bridge Rectifier
- Up to 100mA of Output Current
- Selectable Output Voltages of 1.8V, 2.5V, 3.3V, 3.6V
- High Efficiency Integrated Hysteretic Buck DC/DC
- Input Protective Shunt – Up to 25mA Pull-Down at $V_{IN} \geq 20V$
- Wide Input Undervoltage Lockout (UVLO) Range
- Available in 10-Lead MSE and 3mm × 3mm DFN Packages

APPLICATIONS

- Piezoelectric Energy Harvesting
- Electro-Mechanical Energy Harvesting
- Wireless HVAC Sensors
- Mobile Asset Tracking
- Tire Pressure Sensors
- Battery Replacement for Industrial Sensors
- Remote Light Switches
- Standalone Nanopower Buck Regulator

DESCRIPTION


The LTC[®]3588-1 integrates a low-loss full-wave bridge rectifier with a high efficiency buck converter to form a complete energy harvesting solution optimized for high output impedance energy sources such as piezoelectric, solar, or magnetic transducers. An ultralow quiescent current undervoltage lockout (UVLO) mode with a wide hysteresis window allows charge to accumulate on an input capacitor until the buck converter can efficiently transfer a portion of the stored charge to the output. In regulation, the LTC3588-1 enters a sleep state in which both input and output quiescent currents are minimal. The buck converter turns on and off as needed to maintain regulation.

Four output voltages, 1.8V, 2.5V, 3.3V and 3.6V, are pin selectable with up to 100mA of continuous output current; however, the output capacitor may be sized to service a higher output current burst. An input protective shunt set at 20V enables greater energy storage for a given amount of input capacitance.


LT, LT, LTC, LTM, Linear Technology, the Linear logo and Burst Mode are registered trademarks of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners.

TYPICAL APPLICATION

100mA Piezoelectric Energy Harvesting Power Supply



LTC3588-1 3.3V Regulator Start-Up Profile



REGULADOR DE CARGA BATERÍA



Features Of LED Display Automatic ON/OFF Real-Time Voltage Monitor Battery Protection Module:


1. Automatic control circuit connection
2. Automatic charging and power off
3. Real-time voltage monitor
4. Auto save the setting
5. 5T core chip
6. LM2596 switch voltage regulator

Specifications Of XH-M603 DC 12-24V Charging Control Module Storage Lithium Battery Charger Control Switch Protection Board:

- Model: XH-M603
- Input Voltage: DC 10-30V
- Display Precision: 0.1V
- Control Precision: 0.1V
- Output Type: direct output
- Voltage Tolerance: $\pm 0.1V$
- Application Fields: 12-24V storage battery
- Size: 82*58*1.8mm



Anexo 8. Circuito eléctrico de baldosa Piezoeléctrico



				Tolerancia:	Pezo:	EDIFICIO BLOQUE B UTC BALDOSA PIEZOELECTRICA	
				+0.05	8.52 gr		
				Fecha:	Numero:	CIRCUITO ELECTRICO DE BALDOSA PIEZOELECTRICA	
				04/08/2022	Grupo 1		
				Rev:	09/08/2022	Escala 1:1	
				Aprob:	04/08/2022		
				UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI		Número de dibujo: 1 de 1	
				utc			
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:				

Anexo 9. Aval de traducción de idioma ingles



CENTRO
DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA POR MEDIO DE SENSORES PIEZOELÉCTRICOS PARA LA ILLUMINACIÓN DE LA ENTRADA DEL BLOQUE B DE LA UTC EXTENSIÓN LA**

MANÁ” presentado por: **Marcos Eduardo Caldez Sarmiento y José Luis Jacome Herrera**, egresado de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica, perteneciente a la Facultad de Ciencias de Ingeniería y Aplicadas**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

La Maná, Agosto del 2022

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:

SEBASTIAN
FERNANDO
RAMONAMORES

Mg. Ramón Amores Sebastián Fernando
DOCENTE DEL CENTRO DE IDIOMAS.C.I:
050301668-5

Anexo 10. Similitud de contenido



Document Information

Analyzed document	Proyecto Caldez-Jacome.pdf (D143509845)
Submitted	9/2/2022 5:58:00 AM
Submitted by	
Submitter email	yoandrys.morales@utc.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	yoandrys.morales.utc@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / tesis corrección...pdf Document tesis corrección.pdf (D143493571) Submitted by: yoandrys.morales@utc.edu.ec Receiver: yoandrys.morales.utc@analysis.orkund.com	  3
SA	Josue-Lozano-Buitron-Articulo.doc Document Josue-Lozano-Buitron-Articulo.doc (D34952068)	 1
W	URL: http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/54680/1/GUAMAN%20PILLCO%20LUIS%20FERNANDO.pdf Fetched: 11/10/2021 5:36:37 AM	 1
