

**CENTRO UNIVERSITARIO TECNOLÓGICO
CEUTEC**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGY HARVESTING
PIEZOELECTRICO MEDIANTE BALDOSAS ORIENTADO A LA
INDUSTRIAL TEXTIL**

**SUSTENTADO POR
ADIEL GÁMEZ DELCID, 31721189**

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN NOMBRE
DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA**

**TEGUCIGALPA, HONDURAS, C.A.
AGOSTO, 2024**

**CENTRO UNIVERSITARIO TECNOLÓGICO
CEUTEC**

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

ROSALPINA RODRÍGUEZ GUEVARA

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

DECANA DE CEUTEC

DINA ELIZABETH VENTURA DÍAZ

SUBDIRECTORA ACADÉMICA CEUTEC

IRIS GABRIELA GONZALES ORTEGA

TEGUCIGALPA, HONDURAS, C.A.

AGOSTO, 2024

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGY HARVESTING
PIEZOELECTRICO MEDIANTE BALDOSAS ORIENTADO A LA
INDUSTRIAL TEXTIL**

**TRABAJO PRESENTADO EN EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS
EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ASESOR:

ROGER DANIEL PONCE RODRÍGUEZ

TERNA EXAMINADORA:

ING. ELMER HERNAN CRUZ AVILA

ING. JOSUE DAVID AMAYA SOLER

CIUDAD HONDURAS, C.A.

AGOSTO, 2024

DERECHOS DE AUTOR

© Copyright AÑO DE ENTREGA
ADIEL GÁMEZ DELCID

Todos los derechos son reservados.

DEDICATORIA

El presente proyecto de graduación es un fruto de mi esfuerzo y perseverancia. Le agradezco en primer lugar a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en todo momento. Le dedico principalmente a mi familia que me apoyó con lo necesario para realizar mi investigación. Ellos aportaron en este trabajo para que yo obtuviera el sustento que sirvió para alcanzar los resultados objetivos que se muestran en este proyecto.

Adiel Gámez DelCid

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a mi familia, quienes son mi fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida. A mis hermanos que me han apoyado y alentado para salir adelante. A mis compañeros, quienes con su ayuda y esfuerzo fueron pieza clave para la culminación de este proyecto.

Adiel Gámez DelCid

RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto se enfoca en la introducción de tecnologías de baldosas piezoeléctricas en entornos industriales con el fin de optimizar la eficiencia energética y fomentar prácticas sostenibles. En colaboración con PAVEGEN, líder en el desarrollo de soluciones de captura de energía mediante el movimiento humano, se implementarán baldosas que convierten la energía mecánica en electricidad. Estas baldosas, fabricadas con material cerámico PZT de alta eficiencia y estabilidad térmica, tienen dimensiones estándar de 45 x 60 centímetros y pueden generar hasta 7 W por pisada. Se estima inicialmente instalar alrededor de 150 baldosas en áreas de alto tráfico dentro de instalaciones industriales, lo que permitirá no solo reducir costos operativos al disminuir la dependencia de la red eléctrica convencional, sino también promover prácticas industriales más sostenibles al utilizar materiales reciclados y generar energía limpia sin emisiones de carbono significativas. Este proyecto no solo busca mejorar la eficiencia energética de las instalaciones industriales, sino también establecer un modelo innovador para la integración de tecnologías limpias y eficientes en el sector industrial. Con un enfoque en la rentabilidad a largo plazo y el cumplimiento de estándares ambientales, se espera que la adopción de estas tecnologías no solo beneficie económicamente a las empresas, sino que también contribuya positivamente a la mitigación del impacto ambiental global.

Palabras claves: Eficiencia Energética, Tecnología Piezoeléctrica, Sostenibilidad Industrial, Energy Harvesting

ABSTRACT

This project focuses on the introduction of piezoelectric tile technologies in industrial environments to optimize energy efficiency and promote sustainable practices. In collaboration with PAVEGEN, a leader in the development of energy harvesting solutions through human movement, tiles that convert mechanical energy into electricity will be implemented. These tiles, made from high-efficiency, thermally stable PZT ceramic material, have standard dimensions of 45 x 60 centimeters and can generate up to 7 W per step. Initially, around 150 tiles will be installed in high-traffic areas within industrial facilities. This will not only reduce operational costs by decreasing dependence on the conventional power grid but also promote more sustainable industrial practices by using recycled materials and generating clean energy without significant carbon emissions. This project aims to improve the energy efficiency of industrial installations and establish an innovative model for integrating clean and efficient technologies in the industrial sector. With a focus on long-term profitability and compliance with environmental standards, the adoption of these technologies is expected to benefit companies economically and contribute positively to the global reduction of environmental impact.

Keywords: Energy Efficiency, Piezoelectric Technology, Industrial Sustainability, Energy Harvesting

INDICE

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN EJECUTIVO	V
ABSTRACT	VI
INDICE	VII
Índice de figuras	IX
Índice de tablas.....	X
GLOSARIO	XI
I. CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	1
II. CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Enunciado del Problema	4
2.3. Preguntas de Investigación.....	5
2.4. Hipótesis y Variables de Investigación	5
2.5. Justificación.....	6
III. CAPITULO III: OBJETIVOS.....	7
3.1. Objetivo General.....	7
3.2 Objetivos Específicos	7
IV. CAPITULO IV: MARCO TEÓRICO	8
4.1 Energía Harvesting	8
4.2 Efecto piezoeléctrico.....	8
4.3 Tipos de materiales piezo eléctricos	9
4.4 Baldosas piezo eléctricas	11
4.5 Implementación de las Baldosas en la industria.....	13

4.5.1. Pavegen Systems.....	13
4.5.2. Especificaciones Técnicas de Baldosas Piezoeléctricas.....	13
4.6. Proyecto internacional de PAVEGEN	16
4.7. Descripción de la simulación	18
4.8. Diagrama de conexión carga final	23
4.9. Uso energético	26
4.9.1 Almacenamiento y Duración de la Energía Generada	27
4.10. Implementación de las baldosas	27
4.11. Retorno de inversión	28
V. CAPITULO V: METODOLOGÍA.....	31
5.1. Enfoque y Métodos.....	31
5.1. Población y Muestra	31
5.2. Unidad de Análisis y Respuesta	31
5.3. Técnicas e Instrumentos Aplicados	31
5.4. Fuentes de Información.....	32
5.5. Cronología de Trabajo	32
VI. CAPITULO VI: RESULTADOS Y ANALISIS.....	33
VII. CAPITULO VII: CONCLUSIONES	37
VIII. CAPITULO VIII: RECOMENDACIONES	38
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	39
X. Anexos	41

Índice de figuras

<i>Ilustración 4.1:</i> Esquema de un sistema Energy Harvesting	8
<i>Ilustración 4.2:</i> Efecto piezo eléctrico directo.....	9
<i>Ilustración 4.3:</i> Estructura de la baldosa PAVEGEN	15
<i>Ilustración 4.4:</i> Tipos de baldosas piezoeléctricas PAVEGEN.....	16
<i>Ilustración 4.5:</i> Arduino UNO Proteus	19
<i>Ilustración 4.6:</i> LCD	20
<i>Ilustración 4.7:</i> Resistencia	20
<i>Ilustración 4.8:</i> Transistor	20
<i>Ilustración 4.9:</i> modelo HX711	21
<i>Ilustración 4.10:</i> batería para almacenar energía.....	21
<i>Ilustración 4.11:</i> conmutadores	21
<i>Ilustración 4.12:</i> Baldosa piezoeléctrica	22
<i>Ilustración 4.13:</i> Capacitor.....	22
<i>Ilustración 4.14:</i> Circuito completo simulado en Proteus.....	23
<i>Ilustración 4.15:</i> Circuito completo simulado en Proteus.....	23
<i>Ilustración 4.16:</i> Circuito de carga final	24
<i>Ilustración 4.17:</i> Circuito de carga final	24
<i>Ilustración 5.1:</i> Cronología de los trabajados en las 10 semanas	32
<i>Ilustración 6.1:</i> Generación de energía VS peso de mi autoría.	35
<i>Ilustración 6.2:</i> Energía generada efectiva para 8 horas y 10 horas autoría propia.....	36
<i>Ilustración 10.1:</i> Baldosa Pavegen V3	41
<i>Ilustración 10.2:</i> Especificaciones técnicas de baldosa Pavegen.....	41
<i>Ilustración 10.3:</i> diagrama del sistema Pavegen.....	42

Ilustración 10.4: Cargador inteligente de baterías Pavegen	42
Ilustración 10.5: Instalación de baldosas Pavegen.....	43
Ilustración 10.6: Facturación	44

Índice de tablas

Tabla 2.1 Variables	5
Tabla 4.1	10
Tabla 4.2	17
Tabla 4.3	28
Tabla 6.1	33
Tabla 6.2	34
Tabla 6.3	34

GLOSARIO

Dispositivo Piezoeléctrico: Instrumento que utiliza materiales piezoeléctricos para convertir energía mecánica en energía eléctrica (Culha, 2015).

PZT (Plomo-Zirconio-Titanato): Material cerámico piezoeléctrico ampliamente utilizado debido a su alta constante piezoeléctrica y estabilidad térmica (Culha, 2015).

Energía Harvesting: Proceso de capturar y almacenar energía de fuentes ambientales, como la vibración, el calor y la luz, que de otro modo se desperdiciarían (Culha, 2015).

Simulación: Proceso de crear un modelo digital de un sistema real para estudiar su comportamiento bajo diversas condiciones sin necesidad de experimentación física (Law, 2014).

Baldosas Piezoeléctricas: Superficies que utilizan materiales piezoeléctricos para generar electricidad a partir de la presión ejercida al caminar sobre ellas (Saadon, 2011).

Resiliencia Energética: Capacidad de un sistema para resistir, absorber y adaptarse a perturbaciones y cambios en el suministro de energía (Panteli, 2015).

Eficiencia de Conversión: Grado en el que un dispositivo transforma una forma de energía en otra (Ashby., 2008).

PVDF (Fluoruro de Poli vinilideno): Material cerámico piezoeléctrico

PAVEGEN: Empresa líder en el desarrollo y fabricación de baldosas piezoeléctricas para la generación de energía a partir del movimiento humano.

Tarifa Energética: Costo de la energía eléctrica determinado por la cantidad de energía consumida y las condiciones del mercado energético.

ROI (Return on Investment - Retorno de Inversión): Indicador financiero que mide la rentabilidad de una inversión, calculado como la ganancia neta obtenida de la inversión dividida por el costo de la inversión.

MW (Megavatio): Unidad de potencia equivalente a un millón de vatios, utilizada para medir grandes cantidades de generación o consumo de energía.

Matriz Energética: Herramienta que proporciona una visión cuantitativa de la energía total consumida por un país, desglosada por las diferentes fuentes de energía.

I. CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de energía y la necesidad de soluciones sostenibles han llevado a explorar tecnologías innovadoras como la piezoelectricidad. Este proyecto se centra en la implementación de baldosas piezoeléctricas en entornos industriales, con el objetivo de generar energía a partir del movimiento humano. En colaboración con PAVEGEN, líder en el desarrollo de soluciones de captura de energía, se busca no solo mejorar la eficiencia energética, sino también reducir el impacto ambiental y promover prácticas sostenibles. A continuación, se presenta un resumen de los capítulos que componen este documento.

Capítulo 1: Introducción

En este capítulo se contextualiza la problemática de la demanda energética y la búsqueda de soluciones sostenibles. Se introduce el concepto de piezoelectricidad y su potencial aplicación en la industria, así como los objetivos del proyecto y la estructura del documento.

Capítulo 2: Marco Teórico

Este capítulo proporciona una base teórica sólida sobre la tecnología piezoeléctrica, incluyendo su funcionamiento, materiales utilizados (como el PZT), y aplicaciones actuales. Se analizan estudios y casos previos de implementación de baldosas piezoeléctricas, destacando su eficacia y beneficios.

Capítulo 3: Metodología

En este capítulo se describe el enfoque metodológico utilizado para la investigación y la implementación del proyecto. Se detallan las etapas del proyecto, desde la selección de las baldosas piezoeléctricas hasta la simulación y evaluación de su rendimiento en un entorno industrial simulado.

Capítulo 4: Resultados y Discusión

Este capítulo presenta los resultados obtenidos de la simulación y análisis de las baldosas piezoeléctricas en el entorno industrial. Se discuten los datos de energía generada, eficiencia de

conversión y durabilidad de los dispositivos, comparándolos con otras tecnologías y soluciones energéticas.

Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

En el capítulo final se resumen las conclusiones derivadas de la investigación, destacando el impacto de la implementación de baldosas piezoeléctricas en la eficiencia energética de una planta industrial. Se proporcionan recomendaciones basadas en los resultados obtenidos, sugiriendo mejoras y futuras líneas de investigación.

II. CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Antecedentes

La **matriz energética** es una herramienta crucial que proporciona una visión cuantitativa de la energía total que consume un país. Esta herramienta desglosa la incidencia relativa de diferentes fuentes de energía, como la hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica y combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón mineral). La utilidad de la matriz energética radica en su capacidad para facilitar análisis y comparaciones del consumo energético a lo largo del tiempo o entre distintos países, siendo esencial para la planificación energética nacional. En 2021, con el inicio del periodo de recuperación económica, se observó un aumento significativo en la demanda energética del 7.46% respecto a 2020, siendo el mayor incremento en dicho periodo. En 2022, el crecimiento continuó, aunque a un ritmo más moderado del 2.91%. Durante este año, los meses de mayor demanda de energía fueron abril y mayo, con 1,788.8 MW y 1,740.6 MW respectivamente (INE, 2023). Este aumento en la demanda está asociado a la temporada de verano, cuando el sector residencial, uno de los mayores consumidores de energía, incrementa el uso de climatización en los hogares.

La necesidad de encontrar soluciones innovadoras que puedan satisfacer la creciente demanda de energía y reducir las emisiones de carbono ha llevado a explorar tecnologías como la piezoelectricidad. Esta tecnología convierte la energía mecánica en eléctrica, proporcionando una fuente de energía limpia y sostenible. En la industria textil, la implementación de tecnologías de cosecha de energía, como los dispositivos piezoeléctricos, presenta una oportunidad significativa para mejorar la eficiencia energética y la competitividad.

En la **industria textil**, una de las aplicaciones encontradas de la tecnología piezoeléctrica es en la producción textil flexible. La selección piezoeléctrica de aguja única, desarrollada en colaboración con fabricantes de máquinas de tejer circulares como Johnson Matthew Piezo Products, ofrece varias ventajas sobre la selección mecánica tradicional. Los módulos piezoeléctricos mejorados permiten una alta velocidad de selección, lo que incrementa la productividad, y un bajo consumo de energía, reduciendo los costos operativos. Además, debido

a su diseño compacto y eficiente, estos módulos no requieren sistemas de enfriamiento y garantizan una larga vida útil gracias a la fiabilidad de sus componentes.

La integración de baldosas piezoeléctricas en la planta industrial puede ser vista como una extensión de estas tecnologías. Estas baldosas capturan la energía mecánica generada por el movimiento humano y la convierten en electricidad utilizable. Un ejemplo notable de la implementación de esta tecnología es el proyecto de Bird Street en Londres, donde las baldosas piezoeléctricas de PAVEGEN generan electricidad a partir del tránsito peatonal. Esta energía es utilizada para alimentar la iluminación y otros dispositivos en el área, demostrando el potencial de las tecnologías piezoeléctricas en entornos urbanos.

Para el presente proyecto, se ha planificado la instalación de 150 baldosas piezoeléctricas de PAVEGEN en áreas de alto tráfico dentro de una planta textil. Cada baldosa tiene la capacidad de generar hasta 7 W por pisada, contribuyendo significativamente a la reducción del consumo energético total de la planta. La energía generada puede ser utilizada para la iluminación de estaciones de trabajo, mejorando la visibilidad para los operarios y reduciendo los costos operativos. Además, esta implementación promueve prácticas sostenibles al utilizar materiales reciclados y generar energía limpia sin emisiones de carbono significativas.

2.2. Enunciado del Problema

La industria textil se encuentra en la búsqueda de soluciones innovadoras para optimizar su consumo energético y mejorar su sostenibilidad ambiental. Actualmente, cuenta con tecnologías como la piezoeléctrica de aguja, sin embargo, la disponibilidad de opciones para la generación de energía es limitada. En este contexto, se plantea la implementación de piezoeléctricos de baldosas como una alternativa prometedora. Estos dispositivos ofrecen la posibilidad de aprovechar la energía mecánica generada por la presión ejercida sobre el suelo. Sin embargo, para lograr una implementación exitosa, es crucial abordar los desafíos técnicos, económicos y operativos específicos del sector textil.

2.3. Preguntas de Investigación

- ¿Cuánta energía se puede generar con la instalación de baldosas piezoeléctricas en una planta industrial?
- ¿Cuál es el impacto económico de la implementación de dispositivos piezoeléctricos en la planta industrial?
- ¿Cómo afecta la durabilidad de los dispositivos piezoeléctricos al retorno de inversión y a la sostenibilidad del proyecto?

2.4. Hipótesis y Variables de Investigación

H_1 : Los dispositivos piezoeléctricos de baldosas pueden generar una cantidad significativa de energía, contribuyendo a la autosuficiencia energética en entornos de alto tránsito dentro de la industria textil.

H_2 : La implementación de dispositivos piezoeléctricos en una planta textil resultará en una reducción cuantificable del consumo energético total, aumentando la eficiencia operativa y reduciendo los costos energéticos.

H_3 : Los dispositivos piezoeléctricos de baldosas mantendrán su funcionalidad y eficiencia bajo condiciones operativas típicas de una planta textil durante un período prolongado

Tabla 2.1 Variables

A continuación, se presenta una tabla con variables de investigación

Variable	Definición	Indicadores	Medición
Generación de energía del instrumento piezoeléctrico	Se refiere al proceso mediante el cual se produce electricidad a partir de diversas fuentes de energía primaria (Purcell, 1988).	Potencia generada	Watts (W)
Eficiencia en la conversión	Grado de eficiencia en la conversión de energía mecánica en	Eficiencia de conversión	Porcentaje (%)

	energía eléctrica por parte de los dispositivos (Purcell, 1988).		
Vida útil	A la capacidad de un sistema, componente o material para resistir el desgaste, la degradación o el deterioro durante un período prolongado de uso bajo condiciones normales o específicas de funcionamiento (Ashby., 2008).	Durabilidad	Funcionamiento
Consumo	Cantidad de energía que utiliza una planta textil, con y sin la implementación de dispositivos piezoeléctricos.	energía	Porcentaje (%)

2.5. Justificación

La implementación de piezoeléctricos de baldosas en la industria textil puede permitir una mayor autonomía energética al convertir la energía mecánica en electricidad, reduciendo así la dependencia de fuentes externas de energía. Esta tecnología de piezoeléctricos de baldosas ofrece una solución innovadora para mejorar la eficiencia operativa al aprovechar recursos renovables, minimizar el impacto ambiental y contribuir a la reducción de emisiones de carbono, cumpliendo así con objetivos de sostenibilidad corporativa. En consecuencia, su adopción se presenta como una estrategia clave para promover la competitividad y la responsabilidad social en la industria textil. [00]

III. CAPITULO III: OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

- Diagnosticar la implementación de dispositivos piezoeléctricos de baldosas en la industria textil para mejorar la eficiencia energética.

3.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar la energía generada por dispositivos piezoeléctricos de baldosas en un entorno simulado.
- Determinar el impacto de la implementación de dispositivos piezoeléctricos en el consumo energético total de una planta textil.
- Evaluar la durabilidad de los dispositivos piezoeléctricos de baldosas bajo condiciones operativas en un entorno simulado.

IV. CAPITULO IV: MARCO TEÓRICO

4.1 Energía Harvesting

El término Energy Harvesting se refiere a los sistemas que capturan, reutilizan y aprovechan diferentes formas de energía presentes en el entorno, que de otro modo se desperdiciarían. Estos sistemas, también conocidos como Energy Scavenging, convierten energías como la solar, térmica, eólica, el ruido y las vibraciones en electricidad (Culha, 2015). El objetivo principal de esta tecnología es proporcionar una fuente de energía eléctrica remota y/o recargar dispositivos de almacenamiento, como baterías y capacitores, lo que contribuye a reducir el impacto ecológico al disminuir los residuos químicos derivados de los dispositivos de almacenamiento tradicionales. En las últimas dos décadas, la evolución tecnológica ha provocado importantes cambios, especialmente en la construcción de una gran variedad de dispositivos electrónicos. Esta evolución ha llevado a una reducción considerable en el tamaño de los dispositivos y su consumo de potencia. Estos avances han permitido el desarrollo de dispositivos más pequeños y eficientes energéticamente, favoreciendo a la adopción de tecnologías basadas en piezoelectricidad en diversas aplicaciones industriales (Castro, 2019).



Ilustración 4.1: Esquema de un sistema Energy Harvesting

4.2 Efecto piezoeléctrico

Cuando los cristales piezoeléctricos experimentan deformación debido a la aplicación de una tensión externa, surgen cargas eléctricas en la superficie del cristal, cuya polaridad está vinculada a la dirección de la tensión. Este fenómeno es conocido como el efecto piezoeléctrico directo, y los cristales que manifiestan esta propiedad se denominan cristales piezoeléctricos.

Adicionalmente, cuando un cristal piezoeléctrico está sometido a un campo eléctrico o se aplican cargas eléctricas externas a las caras del cristal, las dimensiones de este experimentan variaciones. Este fenómeno es conocido como el efecto piezoeléctrico inverso, ampliando así la comprensión de la piezoelectricidad en sus diversas manifestaciones (CALLER GUZMAN, 2019).

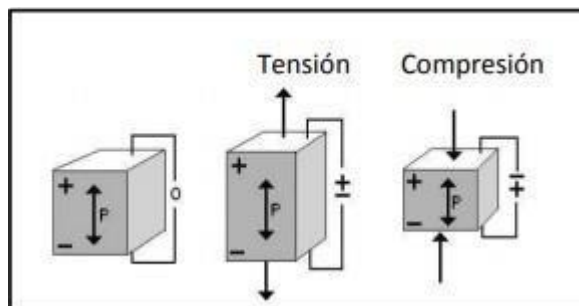


Ilustración 4.2: Efecto piezo eléctrico directo.

4.3 Tipos de materiales piezo eléctricos

En los últimos años, los avances tecnológicos han impulsado significativamente el desarrollo de materiales piezoeléctricos. Estos materiales son esenciales en una variedad de aplicaciones debido a sus propiedades piezoeléctricas y electromecánicas superiores. Entre ellos, el PZT (Plomo-Zirconio-Titanato) destaca como uno de los materiales más utilizados, gracias a su alta constante piezoeléctrica y estabilidad térmica. Los materiales piezoeléctricos se clasifican en varios tipos, cada uno con características y aplicaciones específicas que los hacen adecuados para diferentes usos industriales y tecnológicos. A continuación, se presentan los tipos más comunes de materiales piezoeléctricos: cerámicos, poliméricos y compuestos, destacando sus propiedades y aplicaciones (Avilés, 2022).

Tabla 4.1

A continuación, tabla de materiales para crear dispositivos piezoeléctricos:

Tipo de Material	Ejemplos	Características	Aplicaciones
Cristales Naturales	Cuarzo (SiO ₂), Topacio	Alta estabilidad térmica y mecánica; menos común en aplicaciones comerciales.	Osciladores de alta frecuencia, resonadores, sensores de presión y fuerza; investigación especializada.
Cerámicas Piezoeléctricas	PZT (Plomo-Zirconio-Titanato), BaTiO ₃ (Titanato de Bario), KNN (Niobato de Potasio-Sodio)	Alta constante piezoeléctrica, buena estabilidad térmica; buena piezoelectricidad; libre de plomo.	Actuadores, sensores, transductores ultrasónicos, generación de energía; sensores, actuadores y condensadores cerámicos; alternativa ecológica en sensores y actuadores.
Polímeros Piezoeléctricos	PVDF (Fluoruro de Poli vinilideno), Copolímeros de PVDF	Flexible, ligero, buena respuesta piezoeléctrica; mejora las propiedades piezoeléctricas del PVDF puro.	Sensores de presión y vibración, micrófonos, bioingeniería; sensores táctiles,

			actuadores flexibles, dispositivos portátiles.
Materiales Compuestos	Composites piezoeléctricos, Nano composites	Combinan materiales piezoeléctricos con polímeros o resinas para mejorar propiedades mecánicas; nanopartículas piezoeléctricas en matriz polimérica.	Sensores flexibles, dispositivos de energía portátiles, actuadores en robótica; sensores avanzados, dispositivos electrónicos flexibles, sistemas de generación de energía.

4.4 Baldosas piezo eléctricas

Las baldosas piezoeléctricas son una innovadora solución tecnológica que aprovecha el efecto piezoeléctrico para generar electricidad a partir de la presión ejercida sobre ellas. Este tipo de baldosas convierte la energía mecánica, producida por el movimiento de las personas al caminar, en energía eléctrica que puede almacenarse o usarse directamente.

El principio de operación de las baldosas piezoeléctricas se basa en el efecto piezoeléctrico. Este fenómeno ocurre en ciertos materiales que generan una carga eléctrica cuando se someten a deformación mecánica. En las baldosas, al caminar sobre ellas, la presión aplicada deforma los materiales piezoeléctricos integrados, generando una corriente eléctrica. Esta corriente puede ser almacenada en baterías para uso posterior o utilizada directamente para alimentar dispositivos electrónicos de baja potencia, como luces LED, sensores y otros pequeños aparatos (GUTIÉRREZ, 2013).

Aplicaciones:

- **Energía Sostenible en Áreas de Alto Tráfico Peatonal:** Las baldosas piezoeléctricas se pueden instalar en lugares con gran afluencia de personas, como estaciones de tren, centros comerciales y aeropuertos. La energía generada por el paso constante de personas puede contribuir significativamente a las necesidades energéticas de estos lugares, reduciendo la dependencia de fuentes de energía tradicionales.
- **Infraestructura Inteligente en Ciudades:** En el marco de las ciudades inteligentes, las baldosas piezoeléctricas pueden integrarse en pavimentos y aceras para generar energía de manera sostenible. Esta energía puede alimentar sistemas de iluminación pública, señales de tráfico y otros componentes de la infraestructura urbana, mejorando la eficiencia energética de la ciudad.
- **Eventos y Exposiciones:** En eventos masivos y exposiciones, las baldosas piezoeléctricas pueden utilizarse para demostrar tecnologías innovadoras y sostenibles. Además de generar energía, pueden servir como una herramienta educativa para sensibilizar al público sobre la importancia de las energías renovables.
- **Edificios Verdes:** Las baldosas piezoeléctricas pueden ser una adición valiosa a los edificios diseñados con principios de sostenibilidad. Al instalar estas baldosas en los accesos y áreas comunes, se puede generar energía adicional que contribuya al consumo energético del edificio, reduciendo así la huella de carbono y promoviendo prácticas ecológicas.

Ventajas:

- **Generación de Energía Limpia:** Las baldosas piezoeléctricas producen electricidad sin emisiones de carbono, contribuyendo a la reducción de la contaminación ambiental y promoviendo el uso de energías renovables.
- **Aprovechamiento de Espacios Existentes:** Al instalarse en suelos y pavimentos que ya están en uso, las baldosas piezoeléctricas no requieren espacio adicional. Esto las convierte en una solución eficiente para áreas urbanas densamente pobladas.

- **Complemento de Otras Fuentes de Energía:** Las baldosas piezoeléctricas pueden complementar otras fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica, proporcionando una fuente adicional de electricidad en condiciones donde estas fuentes no son eficaces.

4.5 Implementación de las Baldosas en la industria

La implementación de tecnologías innovadoras como las baldosas piezoeléctricas en la industria textil representa una estrategia prometedora para mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental. Estas baldosas aprovechan el efecto piezoeléctrico para convertir la energía mecánica del movimiento humano en electricidad, ofreciendo una solución sostenible y rentable para generar energía en áreas de alto tráfico dentro de las instalaciones industriales.

Para la implementación de este proyecto, se ha establecido una colaboración con la empresa PAVEGEN, líder en la fabricación y suministro de baldosas piezoeléctricas. PAVEGEN ha demostrado experiencia en la integración de tecnologías de Energy Harvesting en diversos entornos urbanos e industriales, garantizando productos de alta calidad y soluciones personalizadas que cumplen con los estándares más exigentes de sostenibilidad y rendimiento (PAVEGEN, 2024).

4.5.1. Pavegen Systems

Laurence Kembell-Cook, director ejecutivo, partió con una misión clara; para producir electricidad limpia y fuera de la red con el poder de un simple paso. es conocida por desarrollar baldosas que generan electricidad a partir del paso de las personas, convirtiendo la energía mecánica en energía eléctrica. Unas de las ventajas más grandes de la empresa es que los materiales utilizados son reciclables y son reciclables en un 80 % resistentes al agua. Pueden aguantar 5 años de uso intensivo. La capa superior está fabricada con neumáticos reciclados.

4.5.2. Especificaciones Técnicas de Baldosas Piezoeléctricas

Las baldosas piezoeléctricas seleccionadas para este proyecto son del tipo PZT (Plomo-Zirconio-Titanato), conocidas por su alta eficiencia en la conversión de energía mecánica en eléctrica y su estabilidad térmica bajo condiciones industriales exigentes. Este material cerámico

es ideal para entornos industriales, garantizando una larga vida útil y resistencia a condiciones variables de carga y uso prolongado.

Las especificaciones técnicas incluyen:

Dimensiones y Material: Las baldosas tienen dimensiones estándar de 45 x 60 centímetros y están fabricadas con caucho reciclado, cumpliendo con estándares ambientales.

Capacidad de Generación: Cada pisada en las baldosas PAVEGEN puede generar hasta 7 W de energía eléctrica, con un alto porcentaje de eficiencia en la utilización o almacenamiento de esta energía según la aplicación específica.

Número Recomendado para Implementación: Se estima inicialmente instalar alrededor de 150 baldosas piezoeléctricas en áreas de alto tráfico dentro de las instalaciones industriales textiles, lo que proporcionará una cobertura efectiva para capturar energía a partir del movimiento humano.

Funcionamiento

Cuando los peatones caminan sobre el sistema Pavegen, el peso de sus pasos comprime generadores electromagnéticos ubicados debajo, produciendo entre 2 y 4 julios de electricidad fuera de la red por cada paso. Las balizas de Bluetooth de baja potencia en el sistema se conectan a Pavegen-GO, generando análisis basados en permisos, contenido relevante y recompensas para los usuarios. El sistema puede funcionar como una instalación independiente o interactuar con sistemas de gestión de edificios (PAVEGEN, 2024).



Ilustración 4.3: Estructura de la baldosa PAVEGEN

Ventajas y Consideraciones

La adopción de baldosas piezoeléctricas en la industria textil ofrece varias ventajas significativas:

Eficiencia Energética: Contribuyen a reducir el consumo energético mediante la generación de electricidad a partir de fuentes renovables y disponibles localmente.

Sostenibilidad Ambiental: Al utilizar materiales reciclados y generar energía limpia sin emisiones de carbono, las baldosas piezoeléctricas promueven prácticas industriales más sostenibles.

Rentabilidad: A largo plazo, la inversión en tecnologías de Energy Harvesting como las baldosas piezoeléctricas puede reducir los costos operativos al disminuir la dependencia de la red eléctrica convencional y las fluctuaciones de precios energéticos.



Ilustración 4.4: Tipos de baldosas piezoeléctricas PAVEGEN (PAVEGEN, 2024).

4.6. Proyecto internacional de PAVEGEN

Pavegen ha realizado múltiples implementaciones exitosas de sus baldosas piezoeléctricas en diferentes partes del mundo. Uno de los ejemplos más destacados es la instalación de baldosas en el área peatonal de Bird Street en Londres, Reino Unido. Esta instalación ha servido como un caso de estudio para evaluar la viabilidad y el impacto de las baldosas piezoeléctricas en un entorno urbano (PAVEGEN, 2024).

Caso de Estudio: Bird Street, Londres

Ubicación y Propósito: Bird Street, una calle en el centro de Londres, se transformó en una "calle inteligente" equipada con tecnologías sostenibles, incluyendo las baldosas piezoeléctricas de Pavegen. El objetivo de este proyecto era crear un espacio que no solo fuera funcional y estéticamente agradable, sino también ecológico y sostenible (PAVEGEN, 2024).

Características de la Instalación:

- **Número de Baldosas:** Se instalaron aproximadamente 107 baldosas piezoeléctricas en Bird Street.
- **Generación de Energía:** Las baldosas generan energía a partir del paso de peatones, con una capacidad estimada de producir hasta 5 vatios por pisada.
- **Aplicaciones Energéticas:** La energía generada se utiliza para alimentar iluminación LED y sistemas de monitoreo ambiental, proporcionando datos en tiempo real sobre la calidad del aire y otras métricas ambientales.

Impacto y Resultados:

- **Energía Generada:** La instalación ha demostrado ser efectiva en la generación de energía renovable suficiente para las aplicaciones previstas, reduciendo la dependencia de la red eléctrica tradicional.
- **Visibilidad y Educación:** El proyecto ha servido como una herramienta educativa y de concienciación sobre las posibilidades de las energías renovables y la tecnología piezoeléctrica.
- **Sostenibilidad:** Además de la generación de energía, las baldosas piezoeléctricas contribuyen a la sostenibilidad general del área, promoviendo un entorno urbano más ecológico.

Tabla 4.2

Cuadro comparativo de industrias PAVEGEN VS Planta de manufactura:

Característica	Bird Street, Londres	Planta de Manufactura
Ubicación	Área peatonal urbana	Entorno industrial
Número de Baldosas	107 baldosas	150 baldosas

Generación de Energía por Pisada	Hasta 5 vatios	Hasta 7 vatios
Uso de Energía Generada	Iluminación LED, sistemas de monitoreo ambiental	Iluminación de estaciones de trabajo, equipos auxiliares
Objetivo Principal	Crear una "calle inteligente" sostenible	Mejorar la eficiencia energética en la planta
Impacto en la Sostenibilidad	Reducción de la dependencia de la red eléctrica, concienciación ambiental	Reducción del consumo energético total, prácticas sostenibles
Resultados Clave	Efectiva en generación de energía renovable, datos en tiempo real	Potencial de reducir costos operativos, mejorar la ergonomía y seguridad laboral
Durabilidad	Adecuado para tráfico peatonal urbano	Evaluated para condiciones operativas industriales

4.7. Descripción de la simulación

El proyecto presentado se centra en el desarrollo de un sistema de captación y gestión de energía mediante el uso de baldosas piezoeléctricas en entornos industriales. Estas baldosas aprovechan la energía mecánica generada por el paso de personas para convertirla en energía eléctrica utilizable. El circuito diseñado integra diversos componentes clave, como el módulo Arduino Uno para el control y procesamiento de datos, el módulo HX711 para la amplificación y conversión de señales, y una batería para el almacenamiento de la energía generada.

Las baldosas piezoeléctricas, hechas de material cerámico PZT, son altamente eficientes y duraderas, capaces de generar hasta 7 W por pisada. La energía capturada se acondiciona y almacena en una batería, garantizando un suministro constante y eficiente. Además, una pantalla

LCD proporciona información en tiempo real sobre el estado del sistema, y varios interruptores permiten un control manual sencillo de las operaciones de carga y descarga.

- Arduino Uno:

Función en el circuito: Controlar el sistema, leer datos de sensores y activar actuadores según la programación establecida.

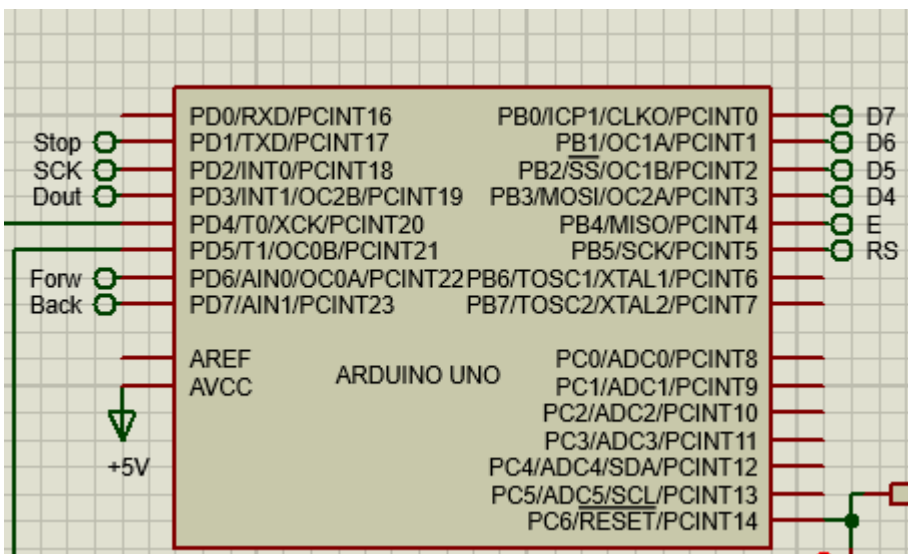


Ilustración 4.5: Arduino UNO Proteus

- LCD 16x2 (LM016L):

Función en el circuito: Mostrar datos relevantes del sistema, como estado de carga de la batería, energía generada, entre otros.

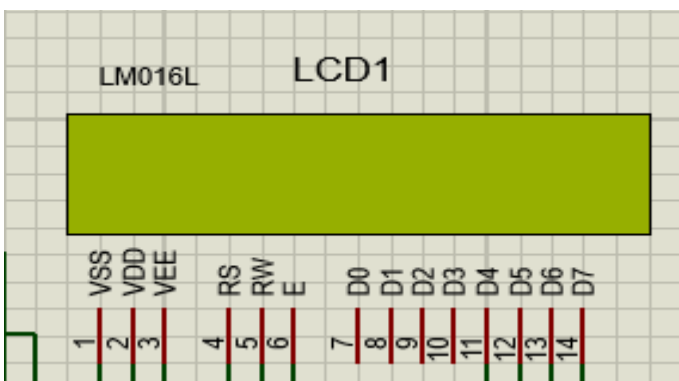


Ilustración 4.6: LCD

- Resistencia Variable (RV1):

Función en el circuito: Ajustar el contraste de la pantalla LCD para una mejor visibilidad.



Ilustración 4.7: Resistencia

- Transistor NPN (2N4403):

Función en el circuito: Controlar la conexión y desconexión de componentes en el circuito, posiblemente para regular el flujo de corriente.



Ilustración 4.8: Transistor

- Módulo HX711:

Función en el circuito: Leer los datos generados por la baldosa piezoeléctrica y convertirlos a señales digitales que el Arduino puede procesar.

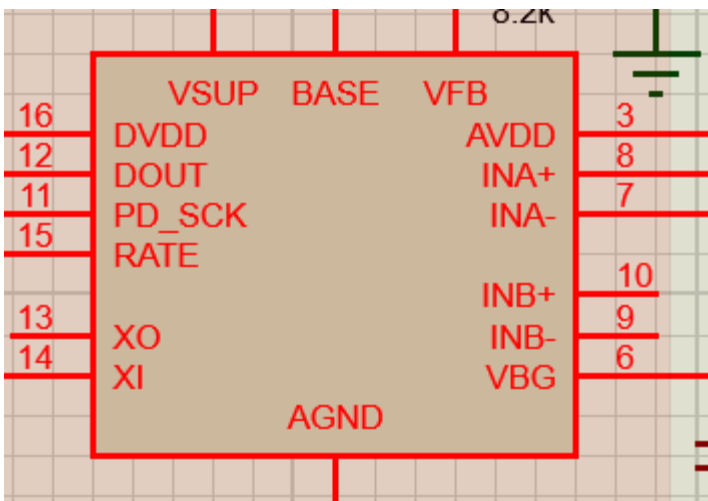


Ilustración 4.9: modelo HX711

- Batería:

Función en el circuito: Almacenar la energía generada por las baldosas piezoeléctricas para su uso posterior.

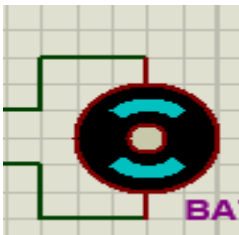


Ilustración 4.10: batería para almacenar energía

- Conmutadores (Stop, For, Back):

Función en el circuito: Permitir al usuario detener, iniciar la carga o descarga de la energía almacenada, proporcionando un control manual del sistema.

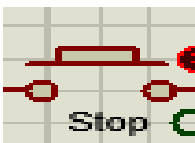


Ilustración 4.11: conmutadores

- Baldosa Piezoeléctrica (LC1):

Función en el circuito: Convertir la presión del paso humano en energía eléctrica, que luego es amplificada y medida por el módulo HX711.

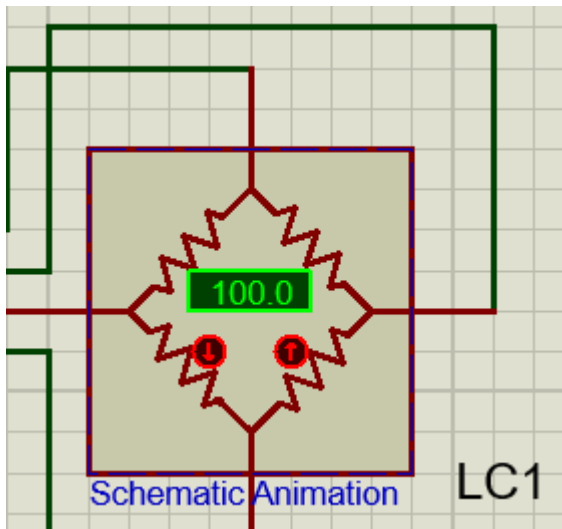


Ilustración 4.12: Baldosa piezoeléctrica

- Capacitores ($10\mu\text{F}$ y $0.1\mu\text{F}$):

Función en el circuito: Filtrar ruidos eléctricos y estabilizar el voltaje en el circuito.



Ilustración 4.13: Capacitor

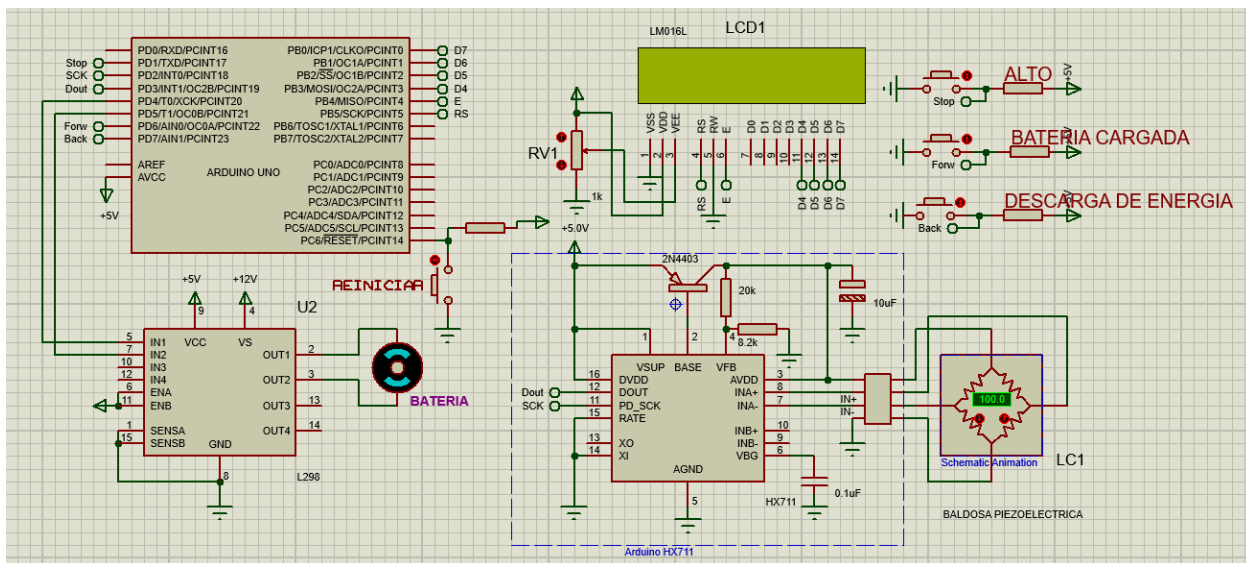


Ilustración 4.14: Circuito completo simulado en Proteus

4.8. Diagrama de conexión carga final

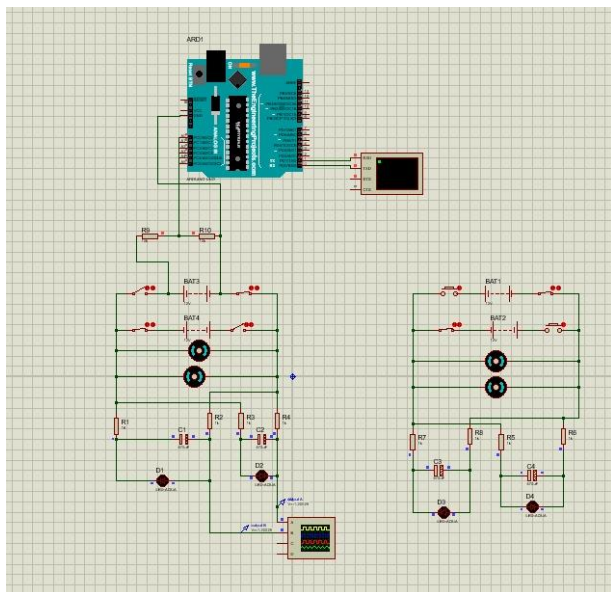


Ilustración 4.15: Circuito completo simulado en Proteus

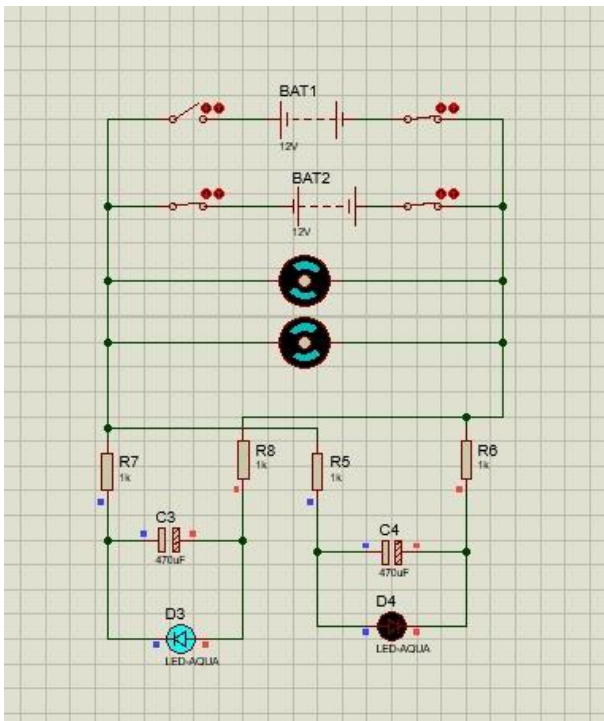


Ilustración 4.16: Circuito de carga final

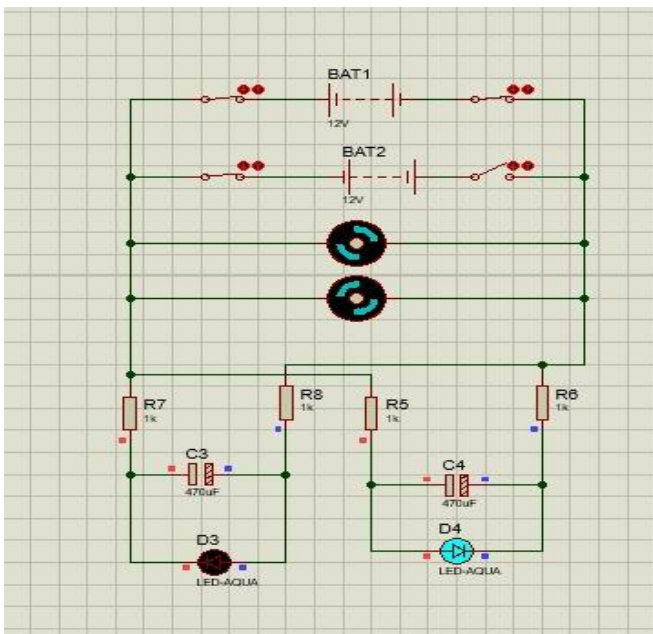


Ilustración 4.17: Circuito de carga final

Estos diagramas representan un sistema de generación y almacenamiento de energía utilizando módulos piezoeléctricos, baterías y un microcontrolador Arduino para gestionar la energía generada y su distribución. A continuación, se explica cada parte del circuito:

1. Módulos Piezoeléctricos

- **Función:** Los módulos piezoeléctricos están conectados en paralelo y son responsables de convertir la energía mecánica en energía eléctrica. Cuando se aplica presión a estos módulos, generan una pequeña cantidad de corriente eléctrica.
- **Componentes Relacionados:**
 - **BAT1 y BAT2:** Dos baterías de 12V están conectadas para almacenar la energía generada por los módulos piezoeléctricos.
 - **Diodos (D1, D2, D3, D4):** Estos diodos permiten el flujo de corriente en una sola dirección, protegiendo los circuitos de polaridades inversas y asegurando que la energía fluya hacia las baterías para su almacenamiento.

2. Circuitos de Almacenamiento y Distribución de Energía

- **Condensadores (C1, C2, C3, C4):** Estos condensadores de $470\mu\text{F}$ ayudan a suavizar las fluctuaciones en la tensión generada, proporcionando una corriente más estable para cargar las baterías.
- **Resistencias (R1 - R8):** Las resistencias, generalmente de $1\text{k}\Omega$, están presentes para limitar la corriente y proteger los componentes de sobre corriente.
- **LEDs:** Los LEDs (D3 y D4) están conectados al circuito para indicar visualmente el flujo de corriente en el sistema.

3. Microcontrolador (Arduino)

- **Función:** Un microcontrolador Arduino está integrado en el circuito para monitorear y controlar la energía generada y almacenada. Este dispositivo puede programarse para medir parámetros como voltaje, corriente y estado de carga de las baterías.
- **Interfaz de Usuario (Display):** Un display LCD conectado al Arduino proporciona una interfaz visual para el usuario, mostrando información relevante como el nivel de carga de las baterías, la cantidad de energía generada, etc.

4.9. Uso energético

Las baldosas piezoeléctricas permiten la generación de energía eléctrica a partir de la presión mecánica ejercida al caminar sobre ellas. Para ello, se implementarán para proveer energía a las luces localizadas en estaciones de trabajo específicas en el sector industrial textil. Esta es una aplicación directa y eficiente de la energía generada por las baldosas piezoeléctricas. Mejorar la visibilidad para los operarios en áreas donde se realiza la manipulación de textiles no solo aumenta la seguridad, sino también la productividad y la precisión en las tareas. Las estaciones de trabajo iluminadas adecuadamente permiten a los operarios realizar su trabajo con mayor comodidad y eficiencia, reduciendo el riesgo de errores y accidentes.

La implementación de estas baldosas en entornos industriales textiles puede contribuir a una reducción significativa en el consumo de energía convencional, promoviendo prácticas más sostenibles. En la industria textil, donde se requiere una iluminación constante y eficiente para garantizar la calidad de los productos y la precisión en los procesos, las baldosas piezoeléctricas ofrecen una alternativa innovadora. Su integración puede ayudar a reducir costos operativos y minimizar el impacto ambiental de las fábricas textiles. La capacidad de estas baldosas para convertir el movimiento en energía eléctrica abre la puerta a numerosas aplicaciones en el ámbito de la energía renovable, destacando su potencial en la creación de sistemas de energía autónomos y descentralizados

4.9.1 Almacenamiento y Duración de la Energía Generada

La energía generada por las baldosas piezoeléctricas en la industria textil se puede almacenar en baterías para su uso posterior, asegurando que la energía esté disponible para aplicaciones como iluminación, sensores y pequeños actuadores incluso cuando no hay presión mecánica aplicada a las baldosas. La cantidad de energía almacenada y su duración dependerán de varios factores, como la eficiencia de las baldosas en convertir la presión en electricidad, la capacidad y tipo de las baterías empleadas, y la cantidad de tráfico y presión ejercida en las áreas de instalación. Un ejemplo de batería adecuada es una batería de litio de 3.3 kWh de capacidad a 48V y 63A de descarga máxima, con tecnología de litio que garantiza la seguridad del sistema y un ciclo de vida largo con muy pocas pérdidas de capacidad. Estas baterías son robustas, con células de litio protegidas frente a altas temperaturas, sobretensiones y sobre corrientes temporales. Son fáciles de instalar y no requieren mantenimiento. Además, son compatibles con la mayoría de los inversores, lo que las hace convenientes para instalaciones solares residenciales, comerciales e industriales.

Los sensores que podrían beneficiarse de esta energía incluyen sensores de temperatura y humedad que monitorean las condiciones ambientales para asegurar un ambiente óptimo para el procesamiento de textiles, y sensores de presencia que activan iluminación o sistemas de ventilación cuando se detecta movimiento.

4.10. Implementación de las baldosas

La implementación de baldosas piezoeléctricas en entornos industriales representa una estrategia innovadora para optimizar la eficiencia energética mediante la captura y conversión de energía mecánica en electricidad. Esta tecnología aprovecha el efecto piezoeléctrico, donde ciertos materiales generan una carga eléctrica en respuesta a una tensión mecánica aplicada. Este estudio se centra en la aplicación de baldosas piezoeléctricas en una planta de manufactura, seleccionada por su alto tráfico peatonal, lo que maximiza el potencial de generación de energía.

Para esta investigación, se han identificado áreas específicas dentro de la planta donde la instalación de baldosas piezoeléctricas puede ser particularmente efectiva. La delimitación de

estas áreas se ha realizado con el objetivo de optimizar la recolección de energía y mejorar la sostenibilidad operativa de la planta. A continuación, se describen estas áreas:

- Zonas de Entrada y Salida del Personal:

Las áreas de entrada y salida de personal son puntos críticos dentro de cualquier instalación industrial debido al flujo constante de trabajadores, especialmente durante los cambios de turno y las pausas. Ya que la alta frecuencia de tránsito en estas zonas permite una recolección continua de energía mecánica, que puede ser convertida en electricidad. La energía generada en estos puntos puede ser utilizada para alimentar sistemas de iluminación y señalización, reduciendo el consumo de energía de la red eléctrica principal y mejorando la sostenibilidad de las operaciones diarias.

- Pasillos Principales de Producción:

Los pasillos principales de producción son áreas de intenso movimiento, donde se transportan materiales y productos en proceso y donde los operarios se desplazan constantemente. Por la constante circulación de personal y equipos en estos pasillos proporciona una oportunidad ideal para la generación de energía. La electricidad producida puede ser utilizada para diversos sistemas de bajo consumo energético, como la iluminación y la alimentación de dispositivos auxiliares, contribuyendo significativamente a la reducción del consumo energético global de la planta.

4.11. Retorno de inversión

Tabla 4.3
Plan de inversión:

Concepto	Detalle	Costo/Valor
Costos Iniciales		
Baldosas Piezoeléctricas	150 unidades a \$500 por unidad	\$75,000

Sistemas de Almacenamiento de Energía	10 unidades a \$1,000 por unidad	\$10,000
Cableado y Conectores		\$2,000
Mano de Obra para Instalación		\$16,000
Total, Costos de Implementación		\$103,000
Generación de Energía		
Capacidad de Generación por Baldosa	7 W por pisada	
Número de Pisadas por Día (Estimado)	1,000	
Energía Generada por Día	$7 \text{ W} * 1,000 \text{ pisadas} * 150 \text{ baldosas} = 1,050,000 \text{ W} (1,050 \text{ kWh})$	1,050 kWh
Energía Generada por Mes	$1,050 \text{ kWh} * 30 \text{ días}$	31,500 kWh
Tarifas Energéticas		
Tarifa Energética Promedio	\$0.20 por kWh (tarifa en Honduras)	
Ahorro Mensual en Costos Energéticos	$31,500 \text{ kWh} * \$0.20$	\$6,300
Ahorro Anual en Costos Energéticos		\$75,600
Mantenimiento Anual		\$2,000

Ahorro Anual Neto		\$73,600
Retorno de Inversión (ROI)		
Inversión Inicial Total		\$103,000
Ahorro Anual Proyectado		\$75,600
Período de Recuperación de la Inversión	$\$103,000 / \$75,600$	1.36 años
Período de Recuperación Ajustado	$\$103,000 / \$73,600$	1.40 años
Proyección a 3 Años		
Ahorro Total a 3 Años	$\$73,600 * 5$	\$368,000
Retorno de Inversión a 3 Años	$\$368,000 - \$103,000$	\$265,000

V. CAPITULO V: METODOLOGÍA

5.1. Enfoque y Métodos

Se ha decidido adoptar un enfoque de investigación mixta que integra tanto aspectos cuantitativos como cualitativos. Esta elección se justifica por la necesidad de no solo medir la eficiencia energética de la tecnología piezoeléctrica, sino también comprender en detalle su adaptabilidad y evaluar la viabilidad de su implementación en sectores industriales específicos. El enfoque cuantitativo se empleará para evaluar de manera objetiva la eficiencia energética, mientras que el enfoque cualitativo permitirá explorar las percepciones y experiencias de los actores clave en la industria textil.

5.1. Población y Muestra

Un aproximado de 400 empleados dentro de las empresas que potencialmente utilizarían el dispositivo de harvesting piezoeléctrico.

5.2. Unidad de Análisis y Respuesta

Se examinarán las características técnicas y el rendimiento de estos dispositivos en términos de generación de energía, eficiencia de conversión y durabilidad. Las unidades de análisis incluirán la cantidad de energía generada por unidad de superficie, la eficiencia energética en la conversión de energía mecánica a eléctrica, y la vida útil de los dispositivos bajo condiciones operativas simuladas.

5.3. Técnicas e Instrumentos Aplicados

- Revisiones bibliográficas
- Análisis de Documentos
- Observación y análisis de caso existentes

5.4. Fuentes de Información

- Fuentes primarias
 - Investigaciones relacionadas al piezoeléctrico
- Fuentes secundarias
 - Repositorio institucional del UNITEC/CEUTEC
 - ProQuest
 - Google Scholar

5.5. Cronología de Trabajo

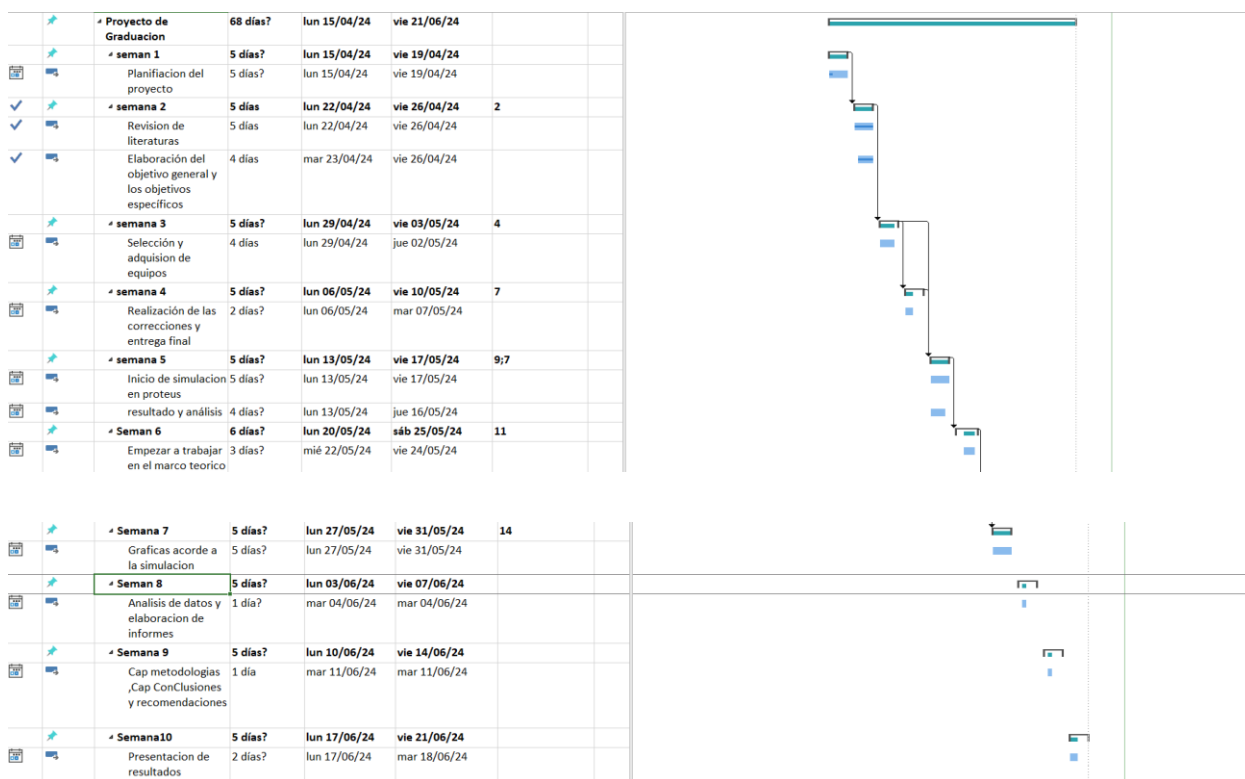


Ilustración 5.1: Cronología de los trabajos en las 10 semanas

VI. CAPITULO VI: RESULTADOS Y ANALISIS

Para determinar la energía efectiva generada por el sistema de baldosas piezoeléctricas, se deben considerar las pérdidas asociadas a la conversión de corriente continua (CD) a corriente alterna (CA) utilizando un inversor. La eficiencia de estos inversores suele oscilar entre el 85% y el 95%. Para una estimación conservadora, se ha tomado una eficiencia del 90%. Donde la eficiencia del inversor (η) es del 90%, o 0.90.

$$\text{Energía efectiva} = \text{Energía generada} * \text{Eficiencia del inversor}$$

Tabla 6.1

Tabla generada de los datos de la simulación en proteus

Periodo de Tiempo	Energía Generada (kWh)	Energía Efectiva (kWh)
Diaria (8 horas de uso diario)	0.128	0.1152
Semanal (8 horas de uso diario)	0.896	0.8064
Mensual (8 horas de uso diario)	3.84	3.456
Anual (8 horas de uso diario)	46.72	42.048
Diaria (10 horas de uso diario)	0.16	0.144
Semanal (10 horas de uso diario)	1.12	1.008

Mensual (10 horas de uso diario)	4.8	4.32
Anual (10 horas de uso diario)	58.4	52.56

Tabla 6.2
Datos periódicos

Periodo	Energía Generada Efectiva (kWh) para 8 horas	Energía Generada Efectiva (kWh) para 10 horas
Diario	0.1152 kWh	0.144 kWh
Semanal	0.8064 kWh	1.008 kWh
Mensual	3.456 kWh	4.32 kWh
Anual	42.048 kWh	52.56 kWh

la generación de energía piezoeléctrica en función del peso de la persona que camina sobre la baldosa piezoeléctrica. Aquí se muestra una relación directa entre el peso (en kg) y la energía generada (en kWh). A continuación, se describe el proceso y las fórmulas utilizadas para obtener estos valores:

Tabla 6.3
Relación de peso y energía generada

Peso (kg)	Energía Generada (kWh)
60	0,001

65	0,002
70	0,004
75	0,006
80	0,009
85	0,012
90	0,016
95	0,02
100	0,025

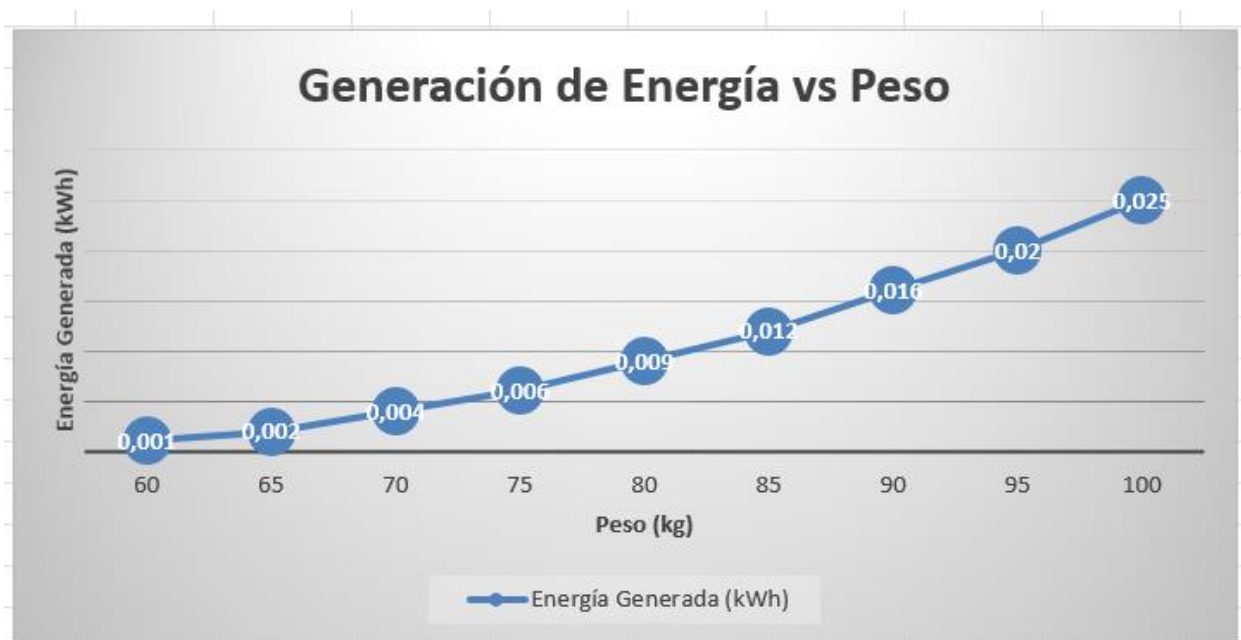


Ilustración 6.1: Generación de energía VS peso de mi autoría.

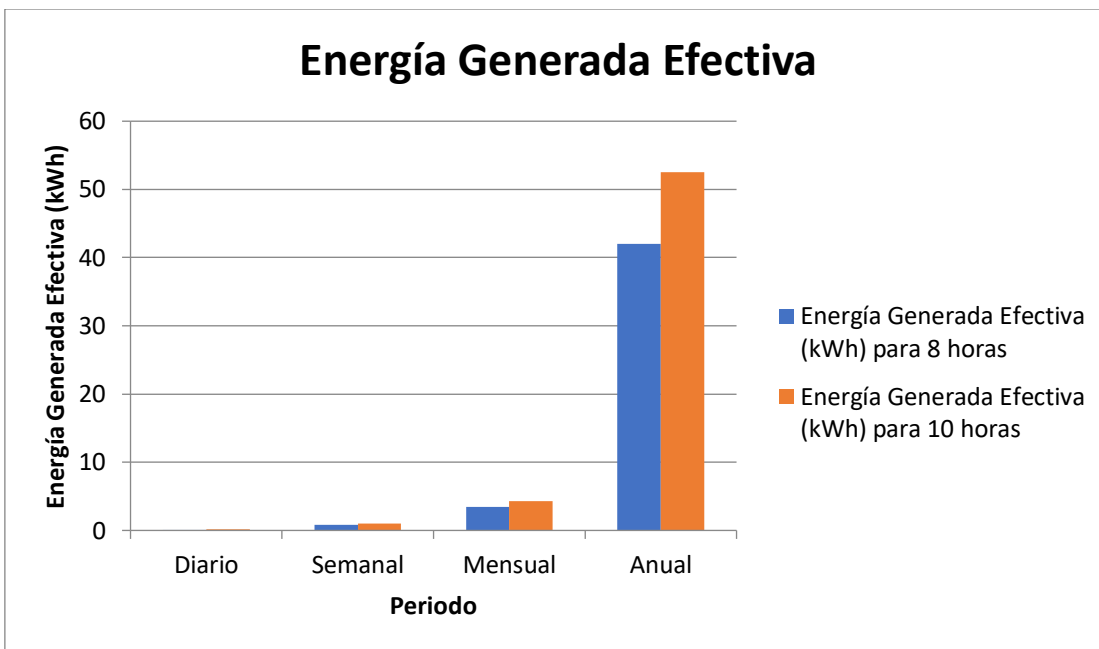


Ilustración 6.2: Energía generada efectiva para 8 horas y 10 horas autoría propia

VII. CAPITULO VII: CONCLUSIONES

- La simulación de los dispositivos piezoeléctricos de baldosas ha permitido cuantificar la energía generada con alta precisión. Los resultados muestran que la implementación de aproximadamente 150 baldosas piezoeléctricas en áreas de alto tráfico puede generar una cantidad significativa de energía, suficiente para alimentar sistemas de iluminación y dispositivos de baja potencia en una planta industrial. La generación de hasta 7 W por pisada destaca el potencial de estas baldosas para contribuir de manera efectiva a las necesidades energéticas de la planta. La implementación de baldosas piezoeléctricas en una planta industrial puede tener un impacto positivo notable en el consumo energético total. Al captar y convertir la energía mecánica del movimiento humano en electricidad, las baldosas piezoeléctricas ayudan a reducir la dependencia de la red eléctrica convencional. Esto no solo disminuye los costos operativos, sino que también contribuye a la sostenibilidad al utilizar una fuente de energía renovable y disponible localmente.
- Las pruebas de simulación indican que los dispositivos piezoeléctricos de baldosas, fabricados con PZT (Plomo-Zirconio-Titanato), presentan una alta durabilidad y resistencia bajo condiciones operativas exigentes. La estabilidad térmica y la capacidad de soportar cargas variables hacen de estos dispositivos una opción viable y robusta para su uso en entornos industriales. La evaluación de la durabilidad ha demostrado que las baldosas pueden mantener su rendimiento a lo largo del tiempo, asegurando una inversión sostenible y de largo plazo.

VIII. CAPITULO VIII: RECOMENDACIONES

- La simulación de los dispositivos piezoeléctricos de baldosas ha permitido cuantificar la energía generada con alta precisión. Los resultados muestran que la implementación de aproximadamente 150 baldosas piezoeléctricas en áreas de alto tráfico puede generar una cantidad significativa de energía, suficiente para alimentar sistemas de iluminación y dispositivos de baja potencia en una planta industrial. La generación de hasta 7 W por pisada destaca el potencial de estas baldosas para contribuir de manera efectiva a las necesidades energéticas de la planta.
- El uso de baldosas piezoeléctricas ha demostrado ser una solución viable para la generación de energía en entornos industriales de alto tráfico. Para maximizar su eficacia, se sugiere la implementación de un sistema de gestión inteligente que monitorice y ajuste la disposición de las baldosas basándose en los patrones de uso. Así mismo la inclusión de baterías de almacenamiento permitirá aprovechar la energía generada durante las horas de mayor actividad, garantizando un suministro continuo para la iluminación y otros dispositivos de bajo consumo. Esta estrategia no solo incrementará la eficiencia energética, sino que también proporcionará una mayor autonomía y seguridad en el suministro eléctrico.

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre*, F. J. (2014). *ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE UTILIZAR BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS EN EL CAMPUS PIEZOELÉCTRICAS EN EL CAMPUS NUEVA GRANADA (UMNG)*.
2. Ashby, M. F. (2005). *Materials Selection in Mechanical Design*. Elsevier.
3. Ashby., M. F. (2008). *Materiales para Ingeniería*. REVERTE S.A.
4. Avilés, E. P. (2022). *PROYECTO DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS EN UN GRAN CENTRO COMERCIAL*.
5. CALLER GUZMAN, S. L. (2019). *“Diseño de un sistema de energy harvesting para la recuperación de energía en la industria*.
6. Castro, P. D. (2019). *SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PIEZOELÉCTRICO BIMORFO TIPO VIGA CANTILÉVER PARA LA COSECHA DE ENERGÍA*. CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S.C.
7. Culha, O. (2015). *Piezoelectric Devices for Energy Harvesting*. Springer.
8. GUTIÉRREZ, J. A. (2013). *BALDOSA PIEZOELÉCTRICA PARA ALIMENTAR SISTEMAS DE ILUMINACIÓN DE BAJO CONSUMO ENERGÉTICO*. ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA.
9. Hernandez Nuñez, E. A., & Sanjinez Guevara, M. A. (2022). *Factibilidad de central eléctrica en base a baldosas piezoeléctricas para iluminación de una plaza de armas*. FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA.
10. HOERBIGER. (03 de mayo de 2024). *Tecnología piezoeléctrica para máquinas textiles*. <https://www.piezoproducts.com/es/applications/textile->

X. ANEXOS



Ilustración 10.1: Baldosa Pavegen V3







WEIGHT	
1 square metre = 54.98kg (121.21 lbs)	
- 3.8 generators/11.78kg (25.97 lbs)	 = 2.5kg (5.51 lbs)
- 9.25 tiles/23.12kg (50.97 lbs)	
- 22kg (48.5 lbs) of support structure	
	 = 3.1kg (6.83 lbs)
MATERIAL	
Top sheet	Altro Stronghold 30. Density: 0.0039g/cc (0.24 lb/ft ³)
	- Thickness: 3mm (0.12") - Slip resistance: ≥ 55 Class 3 - Fire performance: Class Bfl-s1 8kW/m2 pass
Toe-caps	304L Stainless steel. Density: 8.03 g/cc (501.3 lb/ft ³)
	
Tiles	Glass Reinforced Plastic (GRP) - Density of 7.8 g/cc (486.94lb/ft ³)
	Material Code - Menzolit® SMC 0200 1500-9005 - Flexural strength (MPa): 155 BS EN ISO 14125:1998 - Flexural modulus (GPa): 9.5 BS EN ISO 14125:1998 - Tensile strength (MPa): 65 BS EN ISO 527-4:1997
Generator housing	Aluminum Alloy 2024 - Density of Al 2.7g/cc (168.56 lb/ft ³)
	- Ultimate tensile strength: 210-140MPa (130-21ksi) - Maximum yield strength: no more than 97 MPa (14,069psi) - Elongation: 10-25%

Ilustración 10.2: Especificaciones técnicas de baldosa Pavegen

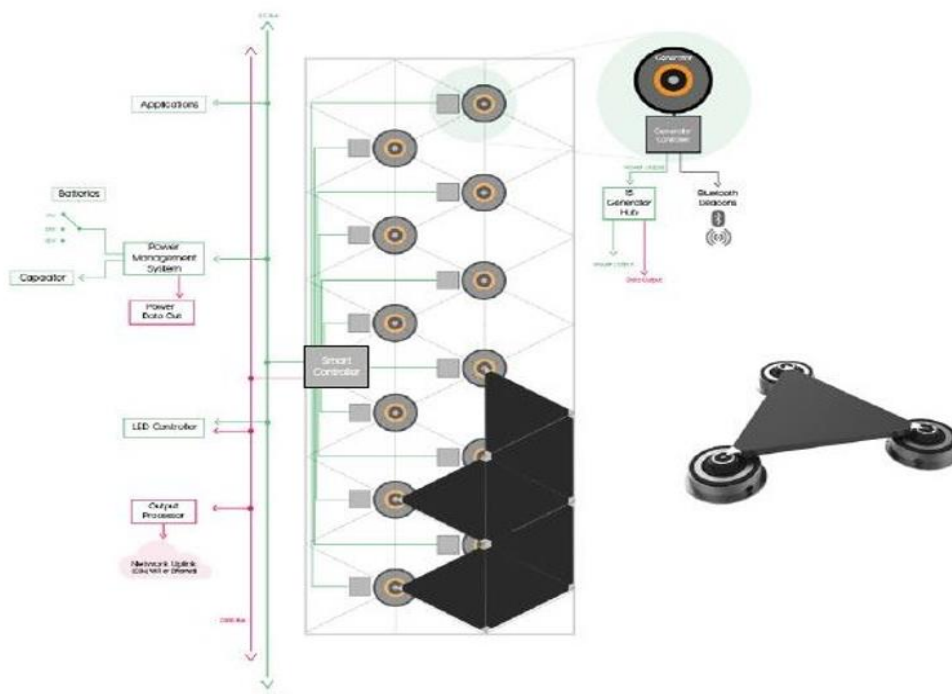


Ilustración 10.3: diagrama del sistema Pavegen

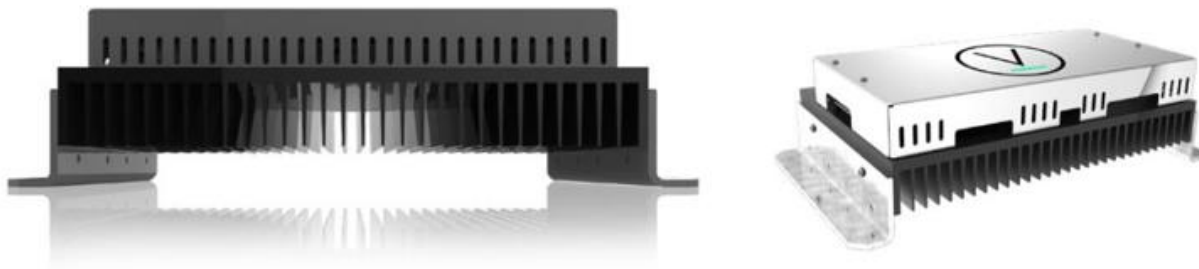


Ilustración 10.4: Cargador inteligente de baterías Pavegen

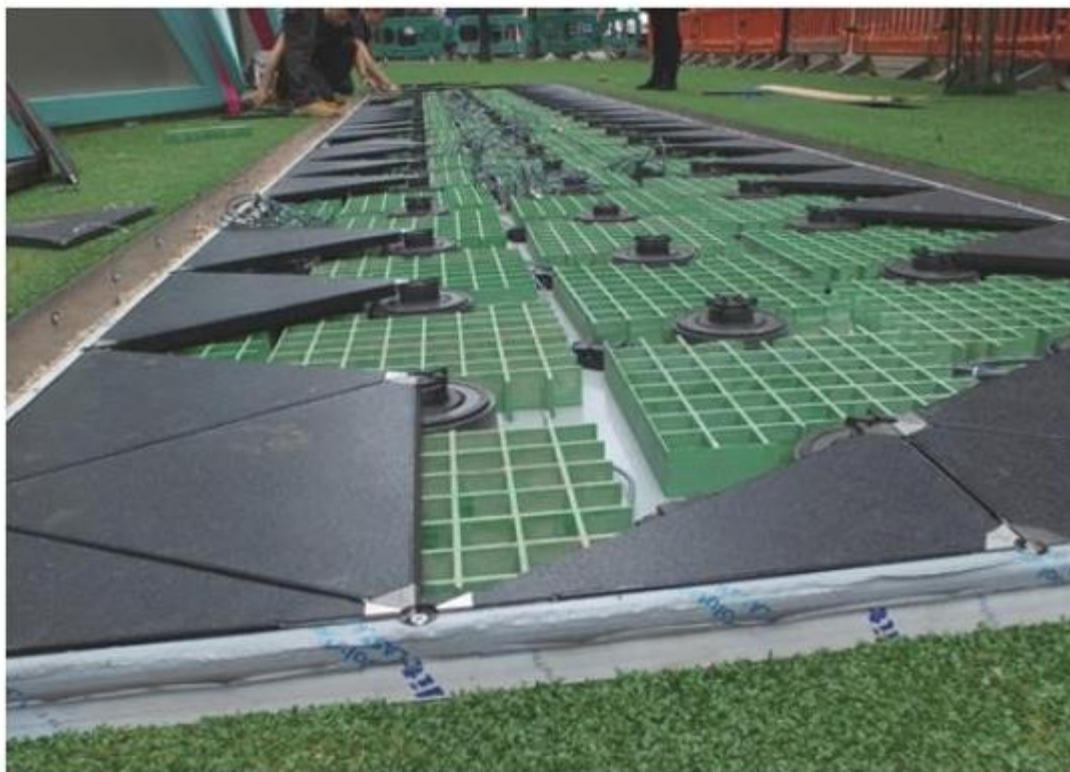


Ilustración 10.5: Instalación de baldosas Pavgen

Baldosas piezoeléctricas					
Inversión Fija					
Ítem		Sub ítem	Cantidad	Unidad	Valor
Costo de equipos		Baldosas	8,37	m ²	USD 45.340,29
		Baterías	8	Baterías de 6V 695Ah	USD 7.616,00
		Inversor	1	2kW 24Vcc	USD 899,28
		Cables			USD 839,21
		Terminales			USD 200,00
		Insumos			USD 500,00
Costo de mano de obra	Ingeniería previa	Ingeniero Electricista	90	Horas hombre	USD 971,22
	Montaje	Oficial electricista	540	Horas hombre	USD 4.856,12
		Oficial mecánico	540	Horas hombre	USD 4.856,12
		Seguridad e higiene	180	Horas hombre	USD 1.618,71
		Ingeniero Electricista	180	Horas hombre	USD 1.942,45
	Puesta en marcha	Oficial electricista	27	Horas hombre	USD 388,49
		Ingeniero Electricista	27	Horas hombre	USD 388,49
		Seguridad e higiene	27	Horas hombre	USD 388,49
Costo de servicios externos	Maquinaria	Minipala (bobcat)	10	Días	USD 1.798,56

Ilustración 10.6: Facturación