

Diseño e Implementación de un Prototipo Portable de Generación Piezoeléctrica

Portilla, Miguel ¹; Ludeña, Raúl ¹; Asanza, Víctor ^{2*}; Dávila, Miguel ¹; Nevarez, Manuel ¹

¹Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Esmeraldas PUCESE, Programa de Maestría en Electricidad, Esmeraldas, Ecuador

²SDAS Research Group, Ben Guerir 43150, Morocco

Resumen: Este documento presenta una investigación sobre el diseño y evaluación de un sistema de recolección de energía piezoeléctrica utilizando una alfombra con múltiples elementos piezoeléctricos. La investigación inicia con una introducción sobre la importancia de desarrollar fuentes alternativas de energía renovable para dispositivos electrónicos portátiles. Posteriormente, se presenta una revisión de literatura sobre tecnologías de recolección de energía del movimiento humano, enfocándose en materiales piezoeléctricos. La metodología describe el diseño de un prototipo de alfombra piezoeléctrica compuesta por una capa de goma, una lámina de acrílico y múltiples elementos piezoeléctricos conectados en paralelo a un circuito recolector de energía. Se realizaron pruebas para caracterizar la respuesta de los sensores piezoeléctricos y evaluar el sistema de recolección de energía bajo diferentes configuraciones. Los resultados indican que un solo elemento generó 18,59 μJ , mientras que 10 elementos conectados produjeron 297,4 μJ con un voltaje de 0,57 V. Además, el sistema permite la adquisición remota de datos a través de la plataforma IoT Thingspeak.

Palabras clave: Energía renovable; Recolección de energía; Movimiento humano; Alfombra piezoeléctrica; IoT

Design and Implementation of a Portable Piezoelectric Power Generation Prototype

Abstract: This document presents a research on the design and evaluation of a piezoelectric energy harvesting system using a mat with multiple piezoelectric elements. The research begins with an introduction on the importance of developing alternative sources of renewable energy for portable electronic devices. Subsequently, a literature review on human motion energy harvesting technologies is presented, with a focus on piezoelectric materials. The methodology describes the design of a piezoelectric mat prototype consisting of a rubber layer, an acrylic sheet, and multiple piezoelectric elements connected in parallel to an energy harvesting circuit. Tests were conducted to characterize the response of the piezoelectric sensors and evaluate the energy harvesting system under different configurations. The results indicate that a single element generated 18,59 μJ , while 10 connected elements produced 297,4 μJ with a voltage of 0,57 V. Furthermore, the system enables remote data acquisition through the IoT platform Thingspeak.

Keywords: Enewable energy; Energy harvesting; Human movement; Piezoelectric mat; IoT

1. INTRODUCCIÓN

El uso y abuso ilimitado de recursos energéticos finitos como el carbón, los hidrocarburos y el gas natural, tanto en hogares como en grandes industrias, están teniendo un impacto negativo en los ciclos vitales del planeta como el ciclo del agua. Esto conduce a fenómenos como lluvias ácidas, desertificación, sequías, contaminación de ríos y océanos, y la degradación de la capa de ozono (Abdal & Leong, 2019).

Sin embargo, estos no son los únicos problemas energéticos actuales. Aunque los hidrocarburos han sido la principal fuente de energía, se ha demostrado que no son infinitos y su uso excesivo está dañando el medio ambiente a escala global. Por lo tanto, el sistema energético actual no es sostenible y varias naciones buscan cambiar su matriz energética a fuentes limpias para lograr mayor eficiencia energética mediante alternativas renovables (Niasar et al., 2020).

*victor.asanza@sdas-group.com

Recibido: 23/11/2023

Aceptado: 19/07/2024

Publicado en línea: 31/08/2024

10.33333/tp.vol54n1.06

CC 4.0

Existen métodos para minimizar los efectos de la actividad humana sobre el medio ambiente. En este contexto, las fuentes de energía limpia emergen como una alternativa importante. Estas fuentes se producen de manera constante y no se agotan a una escala significativa para los seres humanos. Se originan a partir de fenómenos naturales que no alteran el equilibrio de la Tierra, no generan residuos y su tasa de consumo es menor que la velocidad de regeneración de los recursos utilizados (Huang et al., 2022).

Las fuentes renovables de energía sobresalen debido a que son inagotables, renovables y no contaminantes. Además, según algunos estudios (Vizzari et al., 2021), el uso a largo plazo de energías renovables conserva la vida humana al tiempo que promueve sociedades más sostenibles y equitativas.

Con el rápido desarrollo de la microelectrónica, los dispositivos electrónicos inteligentes, se ha minimizado el uso de fuentes de energía externas, como baterías (Fan et al., 2016). No obstante, existe un interés considerable para mejorar el almacenamiento de la batería, ya que los sistemas antes descritos aún requieren una carga regular y un proceso de reemplazo que reduce significativamente sus aplicaciones (Song et al., 2019). Por lo tanto, para alimentar aparatos electrónicos de baja potencia se necesita un suministro de energía constante y sostenible. La solución más factible es extraer energía del medio ambiente y transformarla en electricidad (Wang et al., 2018).

El estudio presentado por Owusu & Asumadu-Sarkodie (2016) menciona a la energía solar y eólica como fuentes de energía renovable y limpia. Sin embargo, estas no proporcionan energía constante debido a su dependencia de las condiciones climáticas. Por el contrario, el movimiento humano está presente en todas partes, exhibiendo un gran potencial para generar energía biomecánica ilimitada, limpia y sostenible para la electrónica inteligente (Xie & Cai, 2014).

Los movimientos biomecánicos humanos, como el movimiento de los dedos, caminar, correr, escribir a máquina e incluso los desplazamientos diminutos dentro del cuerpo humano, como el movimiento de los pulmones, los latidos del corazón y la contracción muscular, poseen una cantidad abundante de energía residual que se puede aprovechar (Roundy & Trolrier-McKinstry, 2018). Pequeños desplazamientos como el movimiento de las extremidades inferiores, como el balanceo de las piernas, puede generar la máxima potencia debido a sus pares más altos que los movimientos de otras partes del cuerpo (Fan et al., 2017). Sin embargo, aprovechar la energía del movimiento humano es bastante complejo y desafiante debido a los movimientos multidimensionales y la frecuencia ultra baja del movimiento humano (Kim et al., 2018).

Bajo este contexto, se necesitan tecnologías de recolección de energía que puedan recopilar de manera efectiva el potencial del movimiento humano. El progreso en el desarrollo de dispositivos electrónicos portátiles autoalimentados depende considerablemente del rendimiento de las tecnologías de recolección de energía (Alhawari et al., 2018). Actualmente,

las tecnologías más comunes para recolectar energía biomecánica del movimiento humano son el Piezoeléctrico, el electromagnético y el triboeléctrico, respectivamente (Lin et al., 2017; Moure et al., 2016; Saha et al., 2008).

Los materiales piezoeléctricos funcionan según el principio del efecto piezoeléctrico, es decir, la propiedad del material para generar electricidad tras la deformación mecánica (Kang et al., 2016). Estos materiales generalmente caen en los modos de trabajo transversal, longitudinal y piezotrónico (Narita & Fox, 2018). Varios investigadores han utilizado estos modos de trabajo para recolectar energía del movimiento humano *in vitro* e *in vivo* para alimentar dispositivos portátiles inteligentes como zapatos inteligentes, textiles inteligentes, dispositivos implantables y dispositivos de monitoreo biomédico (Zhang et al., 2019). Del mismo modo, los materiales electromagnéticos basados en la captación de energía del movimiento humano son bien conocidos por su mayor potencia de salida. Los dispositivos de captación de energía electromagnética funcionan según la ley de inducción electromagnética de Faraday, por lo tanto, la propiedad del material de inducir corriente eléctrica cuando atraviesa el campo magnético (Zhang et al., 2019).

Dependiendo de su mecanismo, los materiales piezoeléctricos se pueden clasificar en recolectores de energía rotativos, oscilatorios e híbridos (Dinulovic et al., 2015). Los colectores rotativos suelen utilizar un tren de engranajes y turbinas debido a sus requisitos de alta potencia (Niroomand & Foroughi, 2016). Los recolectores oscilatorios usan el sistema masa-resorte-amortiguador que generalmente funciona en excitaciones de baja frecuencia con salidas de baja potencia, y los recolectores electromagnéticos híbridos usan rotores excéntricos para acoplar la energía cinética producida por el movimiento humano (Wu et al., 2018).

En el contexto de dispositivos electrónicos portátiles autoalimentados, los recolectores de energía electromagnética que aprovechan el movimiento humano, suelen tener dimensiones más amplias y carecer de diseños miniaturizados. Como resultado, a menudo se combinan con otros materiales, como materiales piezoeléctricos y triboeléctricos, para su integración en la electrónica portátil (Quan et al., 2015). Finalmente, la tecnología más reciente y avanzada para el aprovechamiento de energía del movimiento humano es la recopilación de energía triboeléctrica, que opera en el conocido fenómeno llamado triboelectrificación en el que los materiales se cargan eléctricamente al contacto por fricción (Wang et al., 2015). El desplazamiento relativo entre materiales cargados eléctricamente da como resultado la generación de electricidad. Se han propuesto cuatro tipos de modos de trabajo, en función del tipo de movimiento relativo entre los dos materiales triboeléctricos y la posición del electrodo (Randriantsoa et al., 2023).

Los materiales piezoeléctricos, parte de la categoría más amplia de ferroeléctricos, poseen una característica distintiva: su estructura molecular permite la existencia de dipolos eléctricos locales (Zhao & You, 2014). Estos materiales tienen la capacidad de convertir el estrés mecánico en carga eléctrica -efecto piezoeléctrico directo- y viceversa -efecto

piezoeléctrico inverso- (Cao et al., 2019). Trascendentales en la generación de energía de forma sostenible, especialmente mediante la utilización de cerámicas piezoeléctricas. Sin embargo, el almacenamiento de energía convertida es un desafío significativo (Wen & Xu, 2018). Aunque se puede utilizar directamente, la energía generada por un dispositivo piezoeléctrico no resonante, que no produce una señal constante, debe almacenarse, generalmente, en una batería. En este sentido, los captadores de energía que aprovechan las fuentes de energía mecánicas y vibratorias, incluyendo el movimiento humano, presentan un futuro prometedor para la creación de sistemas energéticos autoalimentados en diversos entornos, que incluyen el cuerpo humano (Qian et al., 2018).

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal desarrollar un dispositivo que no solo sea funcional y eficiente en la conversión de energía, sino también fácilmente transportable y económico, satisfaciendo así las necesidades y demandas de un público más amplio. Para lo cual, se emplea una metodología secuencial que permite el diseño tanto a nivel de hardware y software de la alfombra piezoeléctrica compuesta por una capa de goma, una lámina de acrílico y múltiples elementos piezoeléctricos conectados en paralelo a un circuito recolector de energía. Posteriormente, se realizaron pruebas para caracterizar la respuesta de los sensores piezoeléctricos y evaluar el sistema de recolección de energía bajo diferentes configuraciones. Donde se obtuvo, que un solo elemento generó 18,59 μJ , mientras que 10 elementos conectados produjeron 297,4 μJ con un voltaje de 0,57 V.

El artículo se encuentra estructurado en cuatro secciones distintas. En la segunda sección, se describen los trabajos relacionados, mientras que la tercera sección presenta la metodología empleada en la investigación. En la cuarta sección, se exponen los resultados de las predicciones realizadas, acompañados de su correspondiente análisis. Finalmente, dentro de la sección 5 se abordan las discusiones y conclusiones del artículo.

2. TRABAJOS RELACIONADOS

Existen varios estudios que abordan el problema desde diferentes perspectivas, por ejemplo, Ali et al. (2023) revisan los avances recientes en materiales piezoeléctricos biodegradables, incluidos los polímeros naturales y sintéticos, sus principios, aplicaciones avanzadas y retos para usos médicos. El artículo destaca la evolución de los materiales convencionales no reciclables a materiales funcionales, biodegradables, ecológicos y biocompatibles. También se analiza los métodos de degradación de estos materiales piezoeléctricos mediante estudios *in vitro* e *in vivo*. El artículo concluye que estas mejoras en los materiales piezoeléctricos biodegradables y los microsistemas podrían permitir nuevas aplicaciones en el campo biomédico, como la detección de señales fisiológicas, el diagnóstico de problemas médicos, la apertura de la barrera hematoencefálica y la estimulación de la cicatrización o el crecimiento de tejidos.

Por otro lado, Raj & Ranganathan (2021) abordan el análisis comparativo de distintos modelos de soluciones de captación

de energía piezoeléctrica. Los autores destacan la importancia de las soluciones de captación de energía piezoeléctrica en el desarrollo de redes de sensores inalámbricas autoalimentadas. Además, el estudio compara diferentes modelos para soluciones de captación de energía piezoeléctrica, incluyendo modelos analíticos, modelos numéricos y modelos experimentales. Asimismo, se discute las ventajas y desventajas de cada modelo y proporciona un análisis detallado de su rendimiento. La conclusión de este estudio dicta que la selección del modelo apropiado para las soluciones de captación de energía piezoeléctrica depende de la aplicación específica y del nivel de precisión deseado. Por lo que, los autores sugieren que la investigación futura debería centrarse en el desarrollo de modelos más precisos y eficientes para las soluciones de captación de energía piezoeléctrica con el fin de mejorar su rendimiento y fiabilidad.

Chen et al. (2020) exploran la posibilidad de utilizar materiales piezoeléctricos para recolectar energía de las vibraciones generadas por el viento. Este trabajo también examina la factibilidad de emplear la energía obtenida mediante piezoelectricidad para alimentar nodos de sensores inalámbricos. La investigación revela las conclusiones de experimentos realizados con el fin de establecer la configuración más eficiente de los transductores piezoeléctricos para la recolección de energía. Los autores del estudio tratan también los desafíos que se presentan en el diseño de sistemas de recolección de energía, como la necesidad de una administración eficaz de la potencia y el almacenamiento de energía. En última instancia, se concluye que la recolección de energía mediante piezoelectricidad puede ser una tecnología con gran potencial para alimentar nodos de sensores inalámbricos, si bien se requieren más investigaciones para optimizar el rendimiento de estos sistemas.

Qian et al. (2019) exploran el uso de la hebilla de correa amplificada mecánicamente para una mochila utilizando un actuador piezoeléctrico apilado para la extracción de energía, y se logra una potencia de salida máxima de 0,4 mW.

Guido et al. (2016) abordan la captación de energía biocompatible de los movimientos humanos mediante el apilamiento de películas delgadas de nitrato de aluminio con un voltaje pico de 0,7 V y una potencia eléctrica de 0,2 μW . Asimismo, Kim et al. (2018) realizan la mejora de un recolector de energía flexible para fuerzas de entrada multidireccionales, fabricado con películas de PDMS y PVDF con un pico de tensión de salida generado de 1,75 V.

Zhao & You (2014) recomiendan el uso de una multicapa de PVDF para diseñar PEH a partir de energía mecánica en zapatos, la cual se origina por el movimiento humano con una potencia de salida de 1 mW. De forma similar, Cao et al. (2019) desarrollan un colector insertado en el zapato con un diseño estructural en zigzag compuesto por dos capas de acero inoxidable y una película de PVDF. Este diseño se implementó en un humano corriendo en una cinta a 6 km/h, lo cual produjo un pico de tensión de salida de 5,032 V.

Wen & Xu (2018) diseñan un recolector de energía para los pasos humanos durante la marcha basado en el mecanismo de amplificación de fuerza, con el fin de amplificar la fuerza aplicada en la pila piezoeléctrica y se examina la alta potencia de salida en comparación con los diseños existentes.

Qian et al. (2018) utilizan un mecanismo de amplificación de fuerza y se fabrica un colector de energía para el calzado. Este consiste en varias pilas piezoeléctricas y dos placas de aluminio para caminar a diferentes velocidades. En consecuencia, se obtiene una potencia máxima de salida de 28 mW. Del mismo modo, se han realizado diferentes estudios sobre el mecanismo de amplificación de la fuerza con el fin de maximizar la potencia de salida en los dispositivos de recolección de energía piezoeléctrica.

Asimismo, en el proyecto presentado en (Guido et al., 2016), se informa de la captación de energía biocompatible de los movimientos humanos mediante el apilamiento de películas delgadas de nitrato de aluminio con un voltaje pico de 0,7 V y una potencia eléctrica de 0,2 uW.

Del mismo modo, Kim et al. (2018) realizan la mejora de un recolector de energía flexible para fuerzas de entrada multidireccionales, fabricado con películas de Polidimetilsiloxano (PDMS, por sus siglas en inglés) y Polifluoruro de vinilideno (PVDF, por sus siglas en inglés) con un pico de tensión de salida generado de 1,75 V. En 2014, Zhao & You recomiendan el uso de una multicapa de PVDF para diseñar PEH a partir de energía mecánica en zapatos, la cual se origina por el movimiento humano con una potencia de salida de 1 mW. De forma similar, Cao et al. (2019) desarrollan un colector insertado en el zapato con un diseño estructural en zigzag compuesto por dos capas de acero inoxidable y una película de PVDF. Este diseño se implementó en un humano corriendo en una cinta a 6 km/h, produciendo un pico de tensión de salida de 5,032 V.

Qian et al. (2018) utilizan el mismo mecanismo de amplificación de fuerza que el mostrado en la Figura 2, y se fabrica un colector de energía para el calzado. Este consiste en varias pilas piezoeléctricas y dos placas de aluminio para caminar a diferentes velocidades. En consecuencia, se obtiene una potencia máxima de salida de 28 mW. Del mismo modo, se han realizado diferentes estudios sobre el mecanismo de amplificación de la fuerza con el fin de maximizar la potencia de salida en los dispositivos de recolección de energía piezoeléctrica (Qian et al., 2018).

A pesar de los avances significativos en diversos campos de la tecnología, se ha observado que muchas de estas innovaciones aún presentan desafíos en términos de portabilidad y costos accesibles. Estos factores se han convertido en obstáculos significativos para su adopción generalizada y utilización eficaz. Sin embargo, la tecnología piezoeléctrica se destaca por su excepcional portabilidad y asequibilidad, lo que la convierte en una opción atractiva para numerosas aplicaciones. Esta ventaja distintiva ha motivado un enfoque particular en el diseño e implementación de un prototipo de generación piezoeléctrica portátil en el marco de la presente investigación.

3. METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA PIEZOELÉCTRICA

Para el desarrollo de un sistema de recolección de energía, se ideó un prototipo detallado cuya representación se puede observar en la Figura 1.

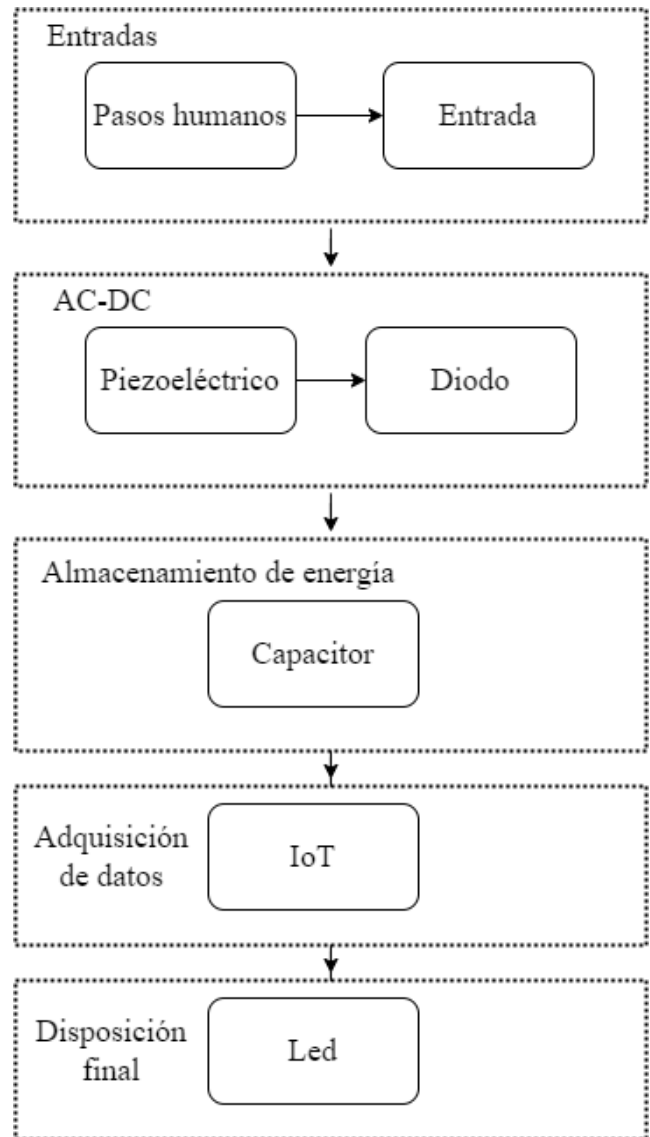


Figura 1. Proceso de conversión de energía

3.1 Diseño del Hardware

Para el desarrollo del prototipo se consideraron cinco etapas. La primera involucra la generación de energía mecánica a través de los pasos humanos en la alfombra piezoeléctrica. En la segunda etapa, los sensores piezoeléctricos incorporados en la alfombra capturan la energía, que luego se rectifica de CA a CC para obtener una señal continua en la tercera etapa. Esta energía se almacena en una batería en la cuarta etapa y se monitorean las variables eléctricas, como voltaje y corriente, mediante una placa de desarrollo con conexión wifi (ESP8266) y una plataforma de IoT (ThingSpeak). Finalmente, la quinta etapa involucra la gestión de los datos y el uso o almacenamiento adecuado de la energía recolectada, como se ilustra en la Figura 1.

Un componente esencial en este diseño es un mosaico compuesto, cuya estructura se detalla en la Figura 2. Este mosaico incorpora una capa de goma, acrílico y transductores piezoeléctricos, cada uno de los cuales desempeña un papel fundamental en el funcionamiento del sistema de recolección de energía. Se optó por un tamaño estándar de 30 cm x 30 cm para el mosaico, garantizando así su compatibilidad y facilidad de instalación en diversos entornos. Cada elemento del mosaico fue cuidadosamente seleccionado y dispuesto para maximizar su eficiencia en la conversión de energía mecánica en eléctrica.

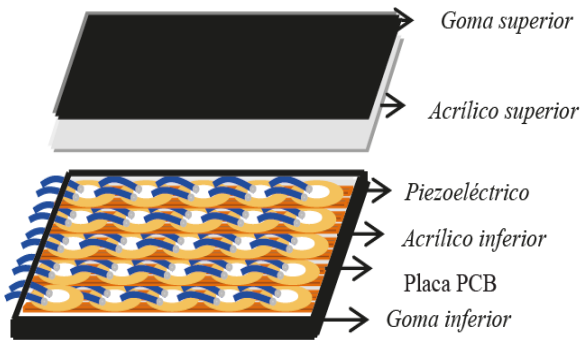


Figura 2. Esquemático de alfombra piezoeléctrica

La conexión de los transductores piezoeléctricos representa otro aspecto crucial del diseño. Estos elementos se conectan tanto en paralelo como en serie a las Placas de Circuito Impreso (PCB, por sus siglas en inglés) que rodean el azulejo. La disposición de estos elementos responde a la necesidad de optimizar la recolección y el flujo de energía. Además, al encontrarse los transductores en serie y en paralelo, contribuye a la eficacia del sistema, permitiendo una recolección de energía más uniforme y eficiente. En última instancia, este diseño detallado y considerado pretende aprovechar al máximo el potencial de los materiales piezoeléctricos en la recolección de energía.

La expresión para la tensión de salida generada por un transductor piezoeléctrico de tipo disco se encuentra definida en la Ecuación 1.

$$V = \frac{g33lF}{\pi r^2} \tag{1}$$

La Ecuación 1 se expresa de la siguiente manera: V representa la tensión de salida en voltios, donde l es la altura o espesor del material piezoeléctrico en metros, F es la fuerza aplicada en newtons, $g33$ es la constante piezoeléctrica de voltaje en voltios por newton, A es la superficie del elemento cerámico en metros cuadrados, r es el radio del disco o varilla cerámica en metros, y π es la constante phi, que se aproxima a 3,14.

Por otro lado, la tensión de salida piezoeléctrica, que puede tener polaridad positiva o negativa, podría clasificarse como un sistema de corriente alterna. Para lo cual, se utiliza un diodo puente que ajusta la salida de cada piezoeléctrico y permite que no se interfieran entre sí. El circuito recolector

de energía se conforma por diez elementos piezoeléctricos conectados en paralelo para obtener una corriente mayor con un nivel de tensión igual para cada elemento. Se empleó un diodo puente KBP308 para la conexión de cada dispositivo, tal como se muestra en el esquema del circuito de la Figura 3.

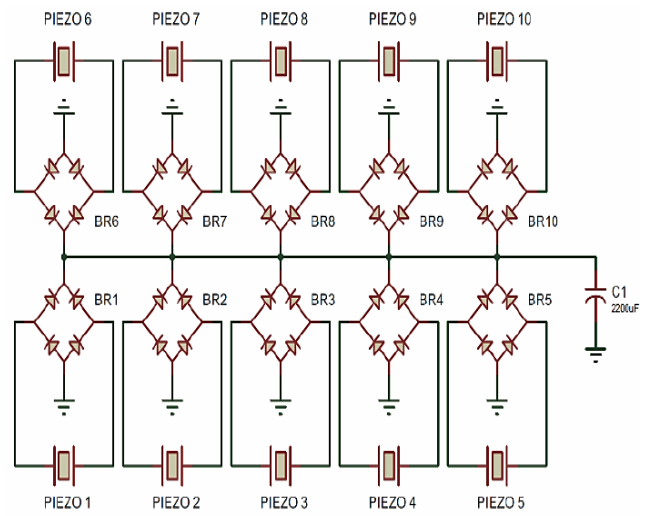


Figura 3. Diagrama electrónico de alfombra piezoeléctrica

En la Figura 4, se observa la disposición de cada piezoeléctrico (Cuadrado negro) con la conexión a su respectivo elemento rectificador (KBP308). Existe un total de 10 piezoeléctricos conectados en paralelo a un condensador que está representado por una bornera de dos tornillos.

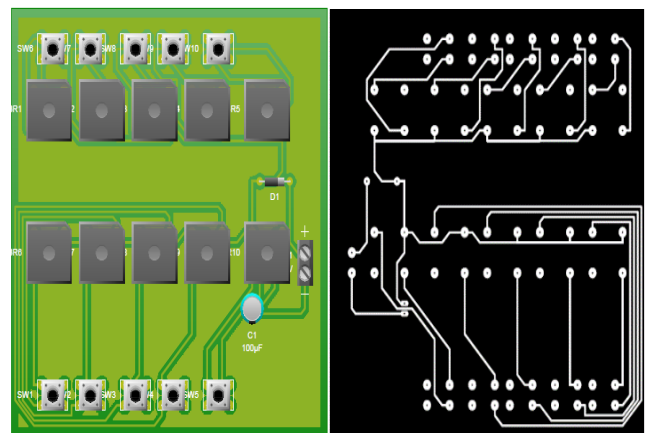


Figura 4. Placa PCB de alfombra piezoeléctrica

Durante la prueba de funcionamiento inicial de la alfombra piezoeléctrica, se pone de manifiesto el Estado de carga (SoC, por sus siglas en inglés) de la batería se comporta de forma ascendente casi lineal mientras haya afluencia de personas que ejerzan tensión mecánica sobre la alfombrilla. Por el contrario, cuando se desconecta la carga, el SoC disminuye gradualmente de forma casi lineal, como se observa en la Figura 5.

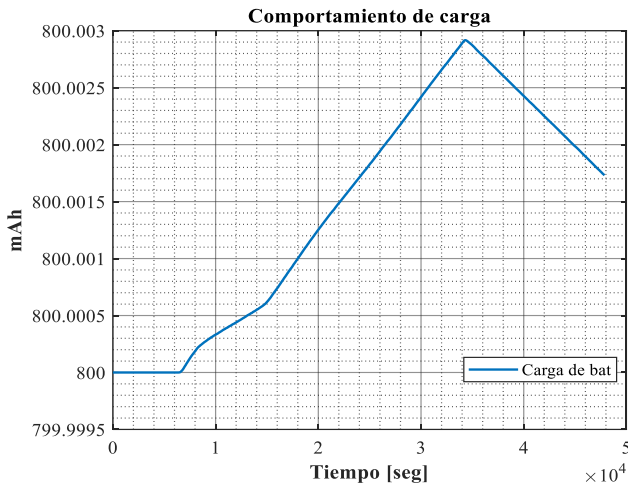


Figura 5. Prueba de comportamiento de carga de la batería

3.2 Sistema de Adquisición de datos

Se utilizaron herramientas electrónicas y de conectividad a Internet para adquirir las mediciones de la alfombra piezoeléctrica. El dispositivo empleado en este proceso está compuesto por varios componentes clave, que incluyen un módulo Node MCU ESP 8266, un sensor de voltaje INA 219 y un display IC2 16X2, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Características técnicas de circuito de adquisición de datos

Componente	Voltaje de Operación	Corriente de Operación	Forma de comunicación
Generador Piezoeléctrico	1,2 – 5 V	Varía según modelo	Análogo
INA 219	3,3V o 5 V	Varía según aplicación	Análogo
I2C 16X2	5 V	Varía según uso	Serial

La adquisición de datos de voltaje y corriente se lleva a cabo mediante la codificación de un sistema que involucra el sensor INA 219 y la placa de desarrollo Node MCU ESP 8266. En este proceso, la placa se configura con credenciales de red específicas, incluyendo Identificación de Conjunto de Servicios (SSID, por sus siglas en inglés) y contraseña, para permitir la transferencia de los datos recopilados a la plataforma ThingSpeak. El diagrama de este procedimiento se encuentra detallado en el algoritmo 1 (Figura 6). Además, los datos obtenidos de las pruebas de experimentación se pueden acceder mediante el siguiente enlace: <https://thingspeak.com/channels/2285032>.

El Algoritmo 1 describe el procedimiento lógico secuencial para realizar la adquisición de datos provenientes desde la alfombra piezoeléctrica. Una vez obtenidos los datos, se realiza la conexión de la placa de desarrollo NODE MCU ESP 8266 mediante la ID y la API KEY del canal de ThingSpeak. De manera posterior, mediante el sensor INA 2019 se recopila el voltaje y la corriente. En este sentido, el voltaje se multiplica por un factor de ajuste para obtener una buena precisión. Este factor viene dado por el fabricante del sensor. Los datos se recopilan cada 2 ms y se envían a la plataforma IoT de Thing Speak.

Algorithm 1: Pseudocódigo de adquisición de datos con Node MCU ESP8266

```

Result: Voltaje;
Corriente;
Inicio:
Serial.begin(115200);
WiFi-mode = (WIFI STA);
ThingSpeak.begin(client);
while Data Frame do
  busvoltage = ina219.getBusVoltage-V();
  int-busvoltage = busvoltage * 1000;
  current-mA = ina219.getCurrent-mA();
  if measure V == true then
    ThingSpeak.writeField(Channel-ID, Field number, busvoltage, WriteAPIKey);
  else
    measure-V = false;
  end
end

```

Figura 6. Algoritmo para la adquisición de datos con Node MCU ESP8266

4. RESULTADOS

Luego de diseñar el prototipo de la alfombra piezoeléctrica, se realizaron diversas pruebas de rendimiento en conjunto con la plataforma de Medición de Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) ThingSpeak. Este análisis se enfocó en dos áreas principales: en primer lugar, se examinaron los resultados de las mediciones de las propiedades del voltaje de salida del material piezoeléctrico; en segundo lugar, se evaluaron los resultados del sistema de recolección de energía. A través de la evaluación de estas métricas clave, se busca obtener una caracterización completa de las capacidades y las posibles aplicaciones de la alfombra piezoeléctrica para la recolección de energía.

4.1 Mediciones de las características de la tensión de salida piezoeléctrica

Los resultados obtenidos en estas mediciones muestran un voltaje mínimo de 0,1 V y un máximo de 2,8 V luego de efectuar pruebas con 10 muestras, el voltaje se generaba cuando el piezoeléctrico estaba sometido a una carga y desaparecía o llegaba a cero en ausencia de cambios de presión en el mismo, lo que se puede clasificar como un impulso. Sin embargo, los resultados de las pruebas con diferentes pesos mostraron una inconsistencia en el voltaje de salida para un elemento en particular. La alfombra piezoeléctrica de 30 x 30 cm, como se muestra en la Figura 7, fue empleada para ajustar la trayectoria de caída sobre el piezoeléctrico, la cual no logró asegurar una respuesta piezoeléctrica consistente.

$$I = F \Delta_t \quad (2)$$

$$I = mg \Delta_t \quad (3)$$

$$I = 70 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1\text{s} \quad (4)$$

$$I = 686 \text{ kg} * \text{m/s} \quad (5)$$

La Ecuación 2 indica que el impulso (I) es igual a la fuerza (F) por el cambio en el tiempo (Δt). Es decir, la corriente generada es proporcional a la fuerza aplicada y al tiempo en que se aplica dicha fuerza. Por otro lado, la Ecuación 3 especifica que la fuerza (F) es equivalente a la masa (m) por la aceleración gravitacional (g). Por lo tanto, la corriente es

proporcional a la masa que ejerce la fuerza y al intervalo de tiempo.

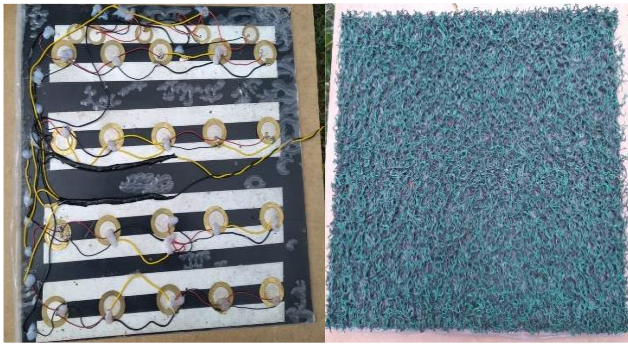


Figura 7. Piezoeléctricos dispuestos sobre azulejo (Izquierda). Vista superior de alfombra piezoeléctrica (Derecha)

La respuesta del impulso piezoeléctrico, según la Ecuación 2, se ve influenciada por la magnitud de la fuerza aplicada y la duración del intervalo de tiempo durante el cual se ejerce la fuerza. En caso de que la fuerza sea mayor y el intervalo de tiempo sea más extenso, el impulso generado será más significativo. Esto se ejemplifica en la Figura 8, que representa el ángulo de caída del peso sobre la superficie de la alfombra. En este contexto, la Figura 8(a) muestra una superficie plana, mientras que la Figura 8(b) representa una superficie inclinada.

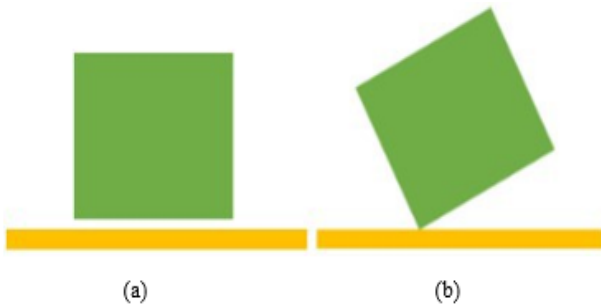


Figura 8. La carga de peso sobre la superficie de la alfombra: (a) superficie plana y (b) superficie angular

$$p = F/A \quad (6)$$

De acuerdo con la Ecuación (6), las variaciones en el ángulo o en la configuración superficial de un objeto en relación con la fuerza ejercida tendrán un impacto en la presión que se transmite a la superficie de otro objeto. La relación entre la fuerza (F) con el área de la sección transversal o superficie (A) es inversamente proporcional. Cuanto mayor sea la sección transversal o la superficie afectada por la presión, menor será la fuerza generada. Por el contrario, cuanto más estrecha sea la sección transversal, mayor será la fuerza generada. Por lo tanto, existe una correlación entre el ángulo de caída del peso y la respuesta de la tensión piezoeléctrica. Cuando el peso cae precisamente en un ángulo de 90 grados perpendiculares a la superficie de la alfombra, como se muestra en la Figura 8(a), el periodo es más prolongado que cuando las pesas caen y forman un ángulo, como se muestra en la Figura 8(b). Cuanto más largo es el periodo, más baja es la frecuencia; cuanto más corto es el periodo, más alta es la frecuencia.

El piezoeléctrico empleado en la alfombra piezoeléctrica fue un zumbador piezoeléctrico con una dimensión de 35 mm. Su

rango de frecuencias de operación abarcaba desde 400 Hz hasta 9 kHz, lo que significa que tenía una alta sensibilidad a las frecuencias elevadas o cuando se aplicaba la misma carga. Los datos característicos indicaron que este piezoeléctrico era más reactivo a las altas frecuencias o cuando se aplicaba el mismo peso de carga. Incluso una ligera inclinación de la presión resultaba en un corto período de presión y una mayor amplitud de la tensión de impulso. La medición de las características de la tensión de salida también podía utilizarse para determinar las especificaciones del convertidor de potencia.

4.2 Mediciones del sistema de captación de energía

Los resultados de las mediciones del sistema de captación de energía muestran que la tensión a través del condensador o batería aumenta con la adición de cada elemento, aunque el aumento no es lineal absoluto. Además, cada elemento adicional aumentaba la tensión del condensador en 0,1 V. Los resultados más altos se obtuvieron con una configuración en paralelo de 25 elementos conectados, donde la tensión del condensador alcanzó 0,57 V.

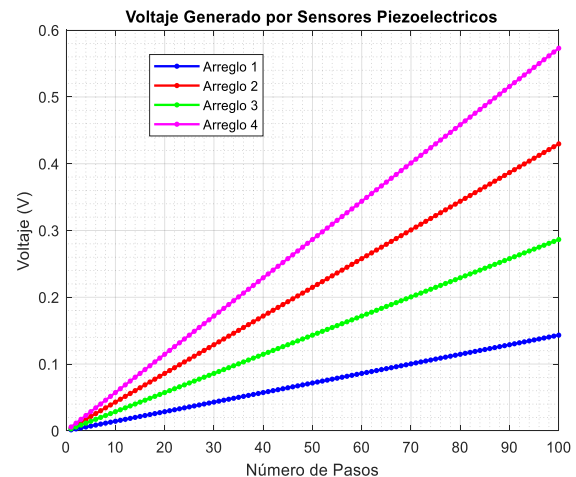


Figura 9. Comportamiento de carga y nivel de voltaje de la batería en base a distintos arreglos de sensores piezoeléctricos

La Figura 9 muestra las diferencias de cálculo para diferente número de sensores piezoeléctricos conectados en serie y paralelo. En este marco, el arreglo 1 consta de un solo sensor piezoeléctrico. El arreglo 2 consta de tres sensores piezoeléctricos conectados en serie y paralelo, de forma mixta. El arreglo 3 consiste en 6 elementos piezoeléctricos conectados de forma mixta. Por último, el arreglo 4 corresponde a 25 sensores piezoeléctricos conectados en una configuración mixta. Según el cálculo, los 25 elementos deberían haber producido una tensión de 1 V con un aumento de 0,1 V por cada elemento adicional. Sin embargo, en condiciones reales, la tensión de la batería solo pudo alcanzar 0,57 V.

La prueba de carga también puede ser calculada a partir de la información sobre el condensador o la batería, la energía que se convierte y la energía generada por la alfombra piezoeléctrica. La energía convertida sigue la relación definida en la Ecuación 7, la cual está vinculada a la energía

potencial derivada de los pasos sobre el módulo de recolección de energía piezoeléctrica. En este contexto, el valor del peso corporal (m) utilizado en la prueba fue de 70 kg, y el grosor del módulo (h) desde la superficie del suelo fue de 14 mm. Con la aceleración debida a la gravedad (g) establecida en $9,8 \text{ m/s}^2$, fue posible calcular la energía potencial correspondiente a cada paso.

$$I = 70 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,014 \text{ m} = 9,604 \text{ J/paso} \quad (7)$$

En la Tabla 2, se observa que se ha producido una energía de $18,59 \mu\text{J}$ utilizando un solo elemento. De manera simultánea, al seguir la configuración recomendada, el condensador se ha cargado con $297,4 \mu\text{J}$, lo que generó un aumento del voltaje a $0,57 \text{ V}$. Este resultado resalta la relación directa entre la energía capturada por el sistema piezoeléctrico y la energía final almacenada en el condensador, como se refleja en el nivel de voltaje. En consecuencia, un aumento significativo en el valor de la tensión representa un incremento proporcional en la cantidad de energía acumulada en el condensador.

Tabla 2. Energía generada por 4 arreglos distintos de sensores piezoeléctricos conectados en paralelo

Configuración	Energía total (uJ)	Energía por cada paso (uJ)	Configuración
Piezoeléctrico simple	18,59	0,46475	N/A
Arreglo de 3	58,19	1,45475	Serie/Paralelo
Arreglo de 6	99	2,475	Serie/Paralelo
Arreglo de 10	297,44	7,436	Serie/Paralelo

5. DISCUSIÓN

El prototipo de alfombra piezoeléctrica presentado logra niveles de energía recolectada similares o superiores. Por ejemplo, genera más energía por paso ($7,436 \mu\text{J}$) que el recolector en calzado reportado en (Qian et al., 2019) ($1,45475 \mu\text{J}$). Esto destaca la eficiencia del diseño propuesto. Asimismo, el uso de múltiples elementos piezoeléctricos en configuración paralelo permite incrementar la corriente generada, tal como se esperaba teóricamente y como se ha reportado en otros trabajos (Ali et al., 2023; Guido et al., 2016). Esta es una fortaleza del diseño que maximiza la energía recolectada.

Por otro lado, la medición detallada de las características del voltaje de salida es una contribución importante del estudio, puesto que permite determinar el rango de operación y sensibilidad de los elementos piezoeléctricos. Esta información es valiosa para seleccionar adecuadamente los componentes del sistema de captación y conversión de energía, como se sugiere en Raj & Ranganathan (2021). Además, el uso de una plataforma IoT para monitorear en tiempo real el voltaje y la corriente es un aspecto innovador que ninguno de los estudios previos reporta. Esto permite validar el funcionamiento del sistema y su capacidad de alimentar dispositivos electrónicos, convirtiéndolo en un prototipo más completo.

No obstante, si bien el aumento del voltaje con más elementos piezoeléctricos no es completamente lineal, el estudio logra identificar esta limitación y señala algunas causas posibles, como la distribución de presión. Se requieren más investigaciones para optimizar este aspecto, tal como sugieren Ali et al., 2023; Chen et al. (2020).

En conclusión, el diseño y experimentación con un prototipo funcionando demuestra la viabilidad y eficiencia de la propuesta. El estudio realiza contribuciones significativas en cuanto al aprovechamiento de la energía piezoeléctrica para la alimentación de dispositivos electrónicos.

6. CONCLUSIONES

El sensor piezoeléctrico de 35 mm de salida exhibe un comportamiento impulsivo y presenta una característica de voltaje que varía entre un mínimo de $1,2 \text{ V}$ y un máximo de 5 V . Estos datos pueden ser de utilidad como referencia en la configuración de convertidores específicos para lograr una captación de energía más efectiva. Según las pruebas de características, el sensor piezoeléctrico de 35 mm muestra mayor sensibilidad a impulsos de alta frecuencia. La alfombra piezoeléctrica propuesta ha generado $18,59 \mu\text{J}$ de energía para un solo elemento, $58,19 \mu\text{J}$ para tres elementos, $99 \mu\text{J}$ para seis elementos y $297,4 \mu\text{J}$ para diez elementos, con una energía promedio de $7,436 \mu\text{J}$.

Los resultados obtenidos de los elementos piezoeléctricos no exhiben una relación lineal con el número de elementos debido a las variaciones en la transformación de energía y la distribución desigual de la presión en cada paso. Estas variaciones impactan en la cantidad de energía generada por la alfombra piezoeléctrica. No obstante, tras el análisis realizado, se demuestra que este sistema de captación de energía piezoeléctrica puede considerarse como una fuente de suministro de energía viable para cargas de pequeña escala.

Con el presente artículo, se considera que en trabajos futuros esta investigación es de gran apoyo ya que surgen nuevas ideas como transformar canchas de fútbol convencional en un espacio sostenible y tecnológicamente avanzado mediante la instalación de una alfombra piezoeléctrica en su superficie. Esta alfombra aprovechará la energía generada por la actividad física de los jugadores y espectadores para alimentar diferentes sistemas y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

7. RECOMENDACIONES

A través de la presente investigación, se logró desarrollar con éxito un sistema de captación de energía piezoeléctrica mediante el uso de una alfombra compuesta por múltiples piezoeléctricos. Los resultados demostraron que al conectar varios elementos sensores en paralelo se incrementa considerablemente la energía generada, constituyendo así una solución factible para aprovechar las fuentes renovables de energía ambiental provenientes del movimiento humano.

No obstante, se presentan oportunidades promisorias de optimización orientadas a mejorar aún más el desempeño y

aplicabilidad del prototipo desarrollado. Entre las principales líneas de trabajo futuro identificadas se encuentran:

Implementar un circuito electrónico regulador con convertidor DC-DC que eleve el voltaje de salida, lo que permite cargar baterías de mayores capacidades y potenciar la explotación de la energía captada. Asimismo, diseñar un sistema de gestión de energía que almacene dinámicamente la energía obtenida, facilitando luego su transferencia a dispositivos externos mediante protocolos de comunicación estandarizados.

Del mismo modo, es conveniente realizar ensayos de fatiga en condiciones reales que evalúen el desempeño del dispositivo ante cargas estáticas y dinámicas complejas a lo largo del tiempo.

Por otro lado, se recomienda optimizar la distribución y diseño mecánico de los elementos sensores piezoeléctricos con el fin de maximizar la deformación generada ante diferentes estímulos aplicados sobre la superficie.

Al materializar estas innovaciones, se espera mejorar la eficiencia energética, control remoto y robustez del prototipo desarrollado, lo cual amplía su espectro de aplicaciones potenciales en el campo de la captación de energía ambiental. Los resultados de esta investigación sentarán las bases para futuros trabajos enfocados en perfeccionar este tipo de sistemas autoalimentados

REFERENCIAS

- Abdal, A. M., & Leong, K. S. (2019). Hybrid Energy Harvesting Scheme Using Piezoelectric and Thermoelectric Generators. *International Journal of Integrated Engineering*, 11(1), 19–26. <https://doi.org/10.30880/ijie.2019.11.01.003>
- Alhawari, M., Mohammad, B., Saleh, H., & Ismail, M. (2018). Energy Harvesting for Self-Powered Wearable Devices. In *Analog Circuits and Signal Processing*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-62578-2>
- Ali, M., Bathaei, M. J., Istif, E., Karimi, S. N. H., & Beker, L. (2023). Biodegradable Piezoelectric Polymers: Recent Advancements in Materials and Applications. *Advanced Healthcare Materials*, 12(23), 1–32. <https://doi.org/10.1002/adhm.202300318>
- Cao, W., Yu, W., & Huang, W. (2019). A Piezoelectric Energy Harvester for Wearable Applications. In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 849, pp. 61–67). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99695-0_8
- Chen, Y., Gu, C., Zhao, P., & Chen, W. (2020). Research on Piezoelectric Energy harvesting from Multi-Direction Wind-Induced Vibrations. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 617(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/617/1/012014>
- Dinulovic, D., Brooks, M., Haug, M., & Petrovic, T. (2015). Rotational Electromagnetic Energy Harvesting System. *Physics Procedia*, 75, 1244–1251. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2015.12.137>
- Fan, K., Yu, B., Zhu, Y., Liu, Z., & Wang, L. (2017). Scavenging energy from the motion of human lower limbs via a piezoelectric energy harvester. *International Journal of Modern Physics B*, 31(07), 1741011. <https://doi.org/10.1142/S0217979217410119>
- Fan, F., Tang, W., & Wang, Z. (2016). Flexible Nanogenerators for Energy Harvesting and Self-Powered Electronics. *Advanced Materials*, 28(22), 4283–4305. <https://doi.org/10.1002/adma.201504299>
- Guido, F., Quattieri, A., Algieri, L., Lemma, E. D., De Vittorio, M., & Todaro, M. T. (2016). AIN-based flexible piezoelectric skin for energy harvesting from human motion. *Microelectronic Engineering*, 159, 174–178. <https://doi.org/10.1016/j.mee.2016.03.041>
- Huang, K., Zhang, H., Jiang, J., Zhang, Y., Zhou, Y., Sun, L., & Zhang, Y. (2022). The optimal design of a piezoelectric energy harvester for smart pavements. *International Journal of Mechanical Sciences*, 232, 107609. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2022.107609>
- Kang, M.-G., Jung, W.-S., Kang, C.-Y., & Yoon, S.-J. (2016). Recent Progress on PZT Based Piezoelectric Energy Harvesting Technologies. *Actuators*, 5(1), 5. <https://doi.org/10.3390/act5010005>
- Kim, M.-O., Pyo, S., Oh, Y., Kang, Y., Cho, K.-H., Choi, J., & Kim, J. (2018). Flexible and multi-directional piezoelectric energy harvester for self-powered human motion sensor. *Smart Materials and Structures*, 27(3), 035001. <https://doi.org/10.1088/1361-665X/aaa722>
- Lin, Z., Chen, J., Li, X., Zhou, Z., Meng, K., Wei, W., Yang, J., & Wang, Z. L. (2017). Triboelectric Nanogenerator Enabled Body Sensor Network for Self-Powered Human Heart-Rate Monitoring. *ACS Nano*, 11(9), 8830–8837. <https://doi.org/10.1021/acsnano.7b02975>
- Moure, A., Izquierdo Rodríguez, M. A., Rueda, S. H., Gonzalo, A., Rubio-Marcos, F., Cuadros, D. U., Pérez-Lepe, A., & Fernández, J. F. (2016). Feasible integration in asphalt of piezoelectric cymbals for vibration energy harvesting. *Energy Conversion and Management*, 112, 246–253. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.01.030>
- Narita, F., & Fox, M. (2018). A Review on Piezoelectric, Magnetostrictive, and Magnetoelectric Materials and Device Technologies for Energy Harvesting Applications. *Advanced Engineering Materials*, 20(5), 1–22. <https://doi.org/10.1002/adem.201700743>
- Niasar, E. H. A., Dahmardeh, M., & Googarchin, H. S. (2020). Roadway piezoelectric energy harvester design considering electrical and mechanical performances. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 234(1), 32–48. <https://doi.org/10.1177/0954406219873366>
- Niroomand, M., & Foroughi, H. R. (2016). A rotary electromagnetic microgenerator for energy harvesting from human motions. *Journal of Applied Research and Technology*, 14(4), 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.jart.2016.06.002>
- Owusu, P. A., & Asumadu-Sarkodie, S. (2016). A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, 3(1), 1167990. <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1167990>
- Qian, F., Xu, T.-B., & Zuo, L. (2018). Design, optimization, modeling and testing of a piezoelectric footwear energy harvester. *Energy Conversion and Management*,

- 171(February), 1352–1364.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.069>
- Qian, F., Xu, T.-B., & Zuo, L. (2019). Piezoelectric energy harvesting from human walking using a two-stage amplification mechanism. *Energy*, 189, 116140. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116140>
- Quan, T., Wang, X., Wang, Z. L., & Yang, Y. (2015). Hybridized Electromagnetic–Triboelectric Nanogenerator for a Self-Powered Electronic Watch. *ACS Nano*, 9(12), 12301–12310. <https://doi.org/10.1021/acsnano.5b05598>
- Raj, J. S., & Ranganathan, G. (2021). Comparative Analysis of Modelling for Piezoelectric Energy Harvesting Solutions. *Journal of Electrical Engineering and Automation*, 3(2), 138–153. <https://doi.org/10.36548/jeea.2021.2.006>
- Randriantsoa, A. N. A., Fakra, D. A. H., Rakotondrajaona, L., & Van Der Merwe Steyn, W. J. (2023). Recent Advances in Hybrid Energy Harvesting Technologies Using Roadway Pavements: A Review of the Technical Possibility of Using Piezo-thermoelectrical Combinations. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 16(4), 796–821. <https://doi.org/10.1007/s42947-022-00164-z>
- Roundy, S., & Trolrier-McKinstry, S. (2018). Materials and approaches for on-body energy harvesting. *MRS Bulletin*, 43(3), 206–213. <https://doi.org/10.1557/mrs.2018.33>
- Saha, C. R., O'Donnell, T., Wang, N., & McCloskey, P. (2008). Electromagnetic generator for harvesting energy from human motion. *Sensors and Actuators A: Physical*, 147(1), 248–253. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2008.03.008>
- Song, P., Yang, G., Lang, T., & Yong, K.-T. (2019). Nanogenerators for wearable bioelectronics and biodevices. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 52(2), 023002. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aae44d>
- Vizzari, D., Genesseeux, E., Lavaud, S., Bouron, S., & Chailleux, E. (2021). Pavement energy harvesting technologies: a critical review. *RILEM Technical Letters*, 6, 93–104. <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2021.131>
- Wang, Jasim, & Chen. (2018). Energy harvesting technologies in roadway and bridge for different applications – A comprehensive review. *Applied Energy*, 212(December 2017), 1083–1094. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.125>
- Wang, Z. L., Chen, J., & Lin, L. (2015). Progress in triboelectric nanogenerators as a new energy technology and self-powered sensors. *Energy & Environmental Science*, 8(8), 2250–2282. <https://doi.org/10.1039/C5EE01532D>
- Wen, S., & Xu, Q. (2018). Design of a Novel Piezoelectric Energy Harvester for Scavenging Energy from Human Walking. *2018 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, 2018-July, 792–797. <https://doi.org/10.1109/AIM.2018.8452343>
- Wu, Y., Qiu, J., Zhou, S., Ji, H., Chen, Y., & Li, S. (2018). A piezoelectric spring pendulum oscillator used for multi-directional and ultra-low frequency vibration energy harvesting. *Applied Energy*, 231(August), 600–614. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.082>
- Xie, L., & Cai, M. (2014). Human Motion: Sustainable Power for Wearable Electronics. *IEEE Pervasive Computing*, 13(4), 42–49. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2014.67>
- Zhang, Y., Cao, J., Zhu, H., & Lei, Y. (2019). Design, modeling and experimental verification of circular Halbach electromagnetic energy harvesting from bearing motion. *Energy Conversion and Management*, 180(July 2018), 811–821. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.11.037>
- Zhao, J., & You, Z. (2014). A Shoe-Embedded Piezoelectric Energy Harvester for Wearable Sensors. *Sensors*, 14(7), 12497–12510. <https://doi.org/10.3390/s140712497>

BIOGRAFÍAS



Miguel, Portilla, Ingeniero Electrónico en Telecomunicaciones, Maestrante en Electricidad, mención Energías Renovables y Eficiencia Energética en la actualidad. Desde hace 10 años labora en Refinería Esmeraldas en el área de Mantenimiento Eléctrico con experiencia en mantenimiento de Subestaciones Eléctricas, configuraciones de Dispositivos Electrónicos Inteligentes en el área de Protecciones Eléctricas, Mantenimiento y Reparación de Switchgears de 13,2kV y Turbogeneradores de 6MW, Ingeniería Básica para diseño de planos de control y fuerza en la implementación de arrancadores de baja tensión y arrancadores suaves de media tensión, Supervisión de un sistema de deslastre de carga (Load Shedding), Redes y comunicaciones de sistema Scada.



Raúl, Ludeña, Ingeniero Eléctrico; maestrante en electricidad, mención energías renovables y eficiencia energética. Experiencia en diseño y construcción de proyectos eléctricos en redes de alta, media y baja tensión, en energías renovables y control industrial. Soporte técnico, diseño, configuración y montaje de sistemas de seguridad electrónica para inmuebles. Programador de equipos de domótica residenciales. Experto asesor de diseño y/o instalación de sistemas contra incendios en industrias



Victor, Asanza, Ingeniero electrónico con especialización en sistemas digitales y procesadores de código abierto. Posee una maestría en automatización y un doctorado en ciencias de la computación aplicada. Experto investigador en FPGA, inteligencia artificial y computación en el borde. Enfocado en el diseño de

sistemas inteligentes y colaborador destacado en el Grupo de Sistemas de Análisis de Datos Inteligentes (SDAS GROUP). Su trabajo se centra en investigaciones sobre sistemas integrados, procesadores RISC-V y tecnologías de interacción humano-máquina. Graduado en 2010 de ESPOL, Ecuador, ha estado contribuyendo activamente al campo desde entonces. El correo electrónico para contactarlo es: victor.asanza@sdas-group.com.

grupos de investigación de electricidad en la Universidad Católica de Cuenca y docencia en la Universidad Nacional de Educación.



Manuel, Nevarez, Ingeniero Eléctrico especializado en Electrónica y Automatización Industrial, Magister en Tecnologías para la Gestión y Práctica Docente, Máster en Industria 4.0. Experiencia en proyectos de Innovación Tecnológica, Fabricación Inteligente, Redes de sensores, Internet de las Cosas, Robótica

y Sistemas Ciberfísicos. Coordinador de Cuarto Nivel en la Unidad Académica del Área de Industria, Tecnología y Comunicación, Docente Investigador de la Carrera Tecnologías de la Información en la PUCE Esmeraldas. Fundador de la empresa INGELECON especializada en el diseño de aplicaciones de hardware y software libre para la solución de problemas a través de la automatización y creación de dispositivos electrónicos.



Miguel, Dávila, Ingeniero Electrónico en Sistemas Industriales y Telecomunicaciones - Universidad Politécnica Salesiana. Ingeniero Eléctrico - Universidad Politécnica Salesiana (2014). Magíster en Electricidad mención Redes Eléctricas Inteligentes - Universidad de Cuenca (2020).

Estudiante doctoral en Ingeniería Industrial - Universidad de Valladolid-España. Se desempeña como Ingeniero del Departamento AMI de la Empresa Eléctrica Regional Centrosur, docente de maestría en electricidad de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Esmeraldas y de maestría en Sistemas de Propulsión Eléctrica en la Universidad del Azuay. Miembro de

