

Sistema piezoeléctrico con gestionamiento de *software*

Piezoelectric system with software management

Sistema piezoeléctrico com gerenciamento de software

Jayr Antonio Fandiño-Gómez¹
Leonardo Valderrama-García²
Segundo Leonardo Cortes-López³

Received: October 18th, 2022

Accepted: January 30th, 2023

Available: May 1st, 2023

How to cite this article:

J. A. Fandiño-Gómez, L. Valderrama-García, S. L. Cortés-López,
“Sistema piezoeléctrico con gestionamiento de *software*”, *Revista Ingeniería Solidaria*,
vol. 19, n.º 2, pp. 1-24, 2023.
doi: <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2023.02.04>

Research article. <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2023.02.04>

¹ Grupo de investigación EBATÉ, semillero de investigación CREINNG, Facultad de Ingeniería, programa Ingeniería de Sistemas, Universidad de Cundinamarca.

Email: jafandino@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5761-8245>.

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002042907.

² Grupo de investigación EBATÉ, semillero de investigación CREINNG, Facultad de Ingeniería, programa Ingeniería de Sistemas, Universidad de Cundinamarca.

Email: lvalderramag@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0369-2762>.

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001678833.

³ Grupo de investigación EBATÉ, semillero de investigación CREINNG, Facultad de ingeniería, programa Ingeniería de Sistemas, Universidad de Cundinamarca.

Email: sleonardocortes@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1317-9623>.

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001841364.



Resumen

Este artículo es producto del proyecto "Sistema piezoeléctrico con gestionamiento de software", desarrollado por Jayr Antonio Fandiño Gómez en conjunto en la Universidad de Cundinamarca seccional Ubaté durante el año 2022.

Objetivo: desarrollar una fuente de energía limpia con ayuda de materiales piezoeléctricos, para aprovechar el paso de las personas dentro de la Universidad de Cundinamarca, seccional Ubaté, para conseguir ahorro de recursos "energéticos".

Método: se han realizado diferentes fases utilizando diversos sensores con el fin de crear un mejor producto el cual sea capaz de generar energía limpia que pueda ser aprovechada para la alimentación lumínica de este espacio público.

Resultados: se ha fabricado una tableta piezoeléctrica de amplias dimensiones y optimizada, la cual se logró implementar para pruebas dentro de la Universidad de Cundinamarca, seccional Ubaté generando resultados que llevaron a la creación de base de datos NO SQL.

Conclusión: al implementar un nuevo sistema de energía renovable en una zona donde hay intereses ambientales, se generará una concientización sobre las diferentes problemáticas que trae el avance de la tecnología.

Limitación del estudio: la adquisición de los sensores puede complicarse debido a que este producto es creado en su mayor parte en el extranjero.

Palabras clave: piezoeléctrico, presión, electricidad, energía limpia, software.

Abstract

This article is a product of the project "Piezoelectric system with software management", developed by Jayr Antonio Fandiño Gómez in conjunction with the University of Cundinamarca Ubaté sectional during the year 2022.

Objective: To develop a source of clean energy with the help of piezoelectric materials, to take advantage of the passage of people within the University of Cundinamarca, Ubaté sectional, generating savings of "energy" resources.

Method: Different phases have been carried out using different sensors in order to create a better product which is capable of generating clean energy that can be used for the lighting supply of this public space.

Results: A piezoelectric tablet of large dimensions and optimized has been created, which was implemented for testing within the University of Cundinamarca, Ubaté sectional generating results that led to the creation of a NoSQL database.

Conclusion: By implementing a new renewable energy system in an area where there are environmental concerns, awareness of the different problems generated by the advancement of technology will be generated.

Limitation of the study: The acquisition of the sensors can be complicated due to the fact that this product is mostly created abroad.

Keywords: Piezoelectric, pressure, electricity, clean energy, software.

Resumo

Este artigo é o produto do projeto "Sistema piezoeléctrico com gerenciamento de software", desenvolvido por Jayr Antonio Fandiño Gómez juntos na seção da Universidade de Cundinamarca Ubaté durante o ano de 2022.

Objetivo: desenvolver uma fonte de energia limpa com a ajuda de materiais piezelétricos, para aproveitar a passagem de pessoas dentro da Universidade de Cundinamarca, seção Ubaté, para economizar recursos "energéticos".

Método: foram realizadas diferentes fases com vários sensores para criar um produto melhor, capaz de gerar energia limpa que pode ser usada para fornecer luz a este espaço público.

Resultados: foi fabricado um tablet piezelétrico grande e otimizado, que foi implementado para testes na Universidade de Cundinamarca, seção Ubaté, gerando resultados que levaram à criação de um banco de dados NO SQL.

Conclusão: ao implementar um novo sistema de energia renovável em uma área onde existem interesses ambientais, será gerada uma conscientização sobre os diferentes problemas que o avanço da tecnologia traz.

Limitação do estudo: a aquisição dos sensores pode ser complicada devido ao fato deste produto ser criado em sua maioria no exterior.

Palavras-chave: piezelétrico, pressão, eletricidade, energia limpa, software.

1. Introducción

A nivel mundial la contaminación del aire está aumentado de manera exponencial, lo cual afecta la salud de niños, mujeres y personas de avanzada edad [1], lleva a disminuir la calidad de vida de las comunidades afectadas e influye directamente en los sobrecostos para el cuidado de enfermedades que afectan el sistema respiratorio, debido a ello se ha convertido en un aspecto de gran relevancia para mejorar. Esto ha conducido a diferentes países a plantear alternativas y soluciones para reducir de manera sistemática la contaminación y disminuir su impacto, siendo esto un estimado de la OMS y la OPS [2]. Sumado a esto, la sobrepoblación trae exigencias como el servicio de electricidad, que en algunos casos no es obtenido a través de procesos amigables con el medio ambiente.

En Colombia existen muy pocas fuentes de energía renovable [3], como lo son la energía eólica, la energía solar y la energía hidroeléctrica, pero esta última no se puede considerar cien por ciento limpia, debido a los impactos y alteraciones necesarias que se deben realizar en su entorno. Una alternativa a estas necesidades de nivel mundial es la piezoelectricidad, una energía que no tiene efectos sobre el medio ambiente.

La piezoelectricidad es una propuesta de un sistema de energía limpia que funciona con cristales de cuarzo que al ser sometidos a tensiones mecánicas adquieren una polarización en su masa, y como resultado adquieren una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie [4].

Una pisada puede generar energía dependiendo de la fuerza con que se aplique y la masa con que se ejerza presión, esto llega a crear una gran potencia con energía cien por ciento limpia. Si se multiplica cada pisada por la cantidad de veces que se

ejerce presión sobre las celdas piezoeléctricas al día, este sistema producirá energía eléctrica para el uso la Universidad de Cundinamarca seccional Ubaté, así mismo, no solamente se estarían reduciendo los gastos en el consumo de energía eléctrica, sino que además se implementa una infraestructura tecnológica amigable con el medio ambiente, al servicio de la universidad.

Notablemente, la piezoelectricidad se refleja en el ámbito de la cotidianidad siendo utilizada para la generación de pequeñas chispas de energía en el caso de los mecheros eléctricos, que sirven para encender las estufas de gas [5].

De esta forma se da a conocer el proceso llevado a cabo dentro del proyecto; cómo a través de la implementación metodológica en espiral, se han logrado prototipos, pruebas, y diferentes modelos para poner en funcionamiento el sistema piezoeléctrico.

1.1 Revisión de literatura o antecedentes de investigación

En investigación se tomaron como base tres estudios sobre la piezoelectricidad que sustentan la viabilidad y marcan el horizonte para desarrollar este proyecto.

La siguiente consulta se toma como referencia, dada la importancia que tiene implementar el sistema piezoeléctrico para la obtención de energía eléctrica en el tren urbano de Guadalajara, México [6].

La energía autoproducida por piezoelectricidad en el sistema de tren, mediante el aprovechamiento del peso de los usuarios puede ser almacenada para alimentar las líneas de la red del tren eléctrico urbano. Esta afirmación es basada en los datos proporcionados por el Sistema de Tren Eléctrico Urbano (Siteur) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Complementariamente, esta información se triangula con datos realizados en ejercicios de campo y en función de la oferta y demanda energética; se calculan el peso aproximado de los usuarios y la energía que puede producir el sistema de generación piezoeléctrica por persona.

En la investigación que se relaciona a continuación puede reflejarse la gran utilidad que se le ha dado a la piezoelectricidad en un sistema con un gran flujo de personas. La compañía de metro japonesa East Japan Railway Company (JR East) “se ha propuesto aprovecharse de sus clientes”; ha instalado en Tokyo unas zonas de paso creadas con materiales piezoeléctricos en donde se encuentran ubicados los tornos de entrada, que son capaces de recoger la energía generada al caminar sobre ellas [7].

La intención de la compañía es que las máquinas de lectura de tiquetes de los tornos y los carteles electrónicos funcionen gracias a esta energía creada por los

pasajeros. Con respecto a la cantidad de energía generada, según la compañía, se obtienen 10 vatios por segundo con el sistema funcionando al 90 % de su capacidad. Este sistema podía implementarse en la estación de metro de Nueva York y tratar de alimentar su árbol navideño.

En el desarrollo del siguiente proyecto se determinó que al implementar una fuente de producción de energía sostenible para iluminación de una vía vehicular, utilizando la presión de los automóviles, podrían reducirse los accidentes [8].

La investigación se basa principalmente en dos grandes problemáticas, la primera es la utilización de combustibles fósiles y carbón para la generación de energía; y la segunda, los accidentes de tránsito por falta de iluminación en este perfil vial. Los estudiantes, tras realizar varias investigaciones, encontraron que si implementaban una fuente de energía sostenible en esta vía se reduciría el índice de accidentes, basados en esto, decidieron optar por un sistema piezoeléctrico y aprovechar la presión de los autos, tomaron principalmente como referencia a los peajes, en los cuales se puede implementar este sistema en las básculas, de esta manera, los autos generarían la suficiente energía para iluminar esta vía por completo.

2. Materiales y métodos

Para la creación y elaboración del producto que se ha llevado a cabo, fue pertinente contar con sensores piezoeléctricos, los cuales permiten el cambio de energía mecánica a energía eléctrica, y hacen posible el aprovechamiento del simple caminar de las personas para generar energía. Empleando cables multipolares que permiten el paso de la energía en ambos sentidos, y utilizando estaño, el cual posibilita la conexión de diferentes materiales eléctricos, se creó una conexión de dicho cable con los sensores, para luego realizar la conexión de los cables a unos diodos rectificadores con el fin de transportar la energía en un solo sentido. Para proteger los cables y los sensores piezoeléctricos se utilizaron placas de madera y una cubierta de plástico para que no se dieran novedades durante su funcionamiento a causa de fenómenos naturales. Para el análisis de los diferentes datos que se podían generar, se utilizó un sensor de voltaje el cual permite el cambio de señales eléctricas a señales análogas para que puedan ser leídas por la tarjeta microcontroladora de Arduino, y esta, mediante su entorno de desarrollo, pueda mostrar una evidencia de datos en tiempo real. Para poder llevar a cabo el avance y seguimiento del proyecto, se vio la necesidad de utilizar una metodología que estuviese al alcance de este y permitiese tanto organización como flexibilidad en su elaboración.

2.1 Metodología en espiral

Para el desarrollo de esta investigación aplicada, se decidió implementar la metodología en espiral [9], esta permite, por medio de varias fases, desarrollar un prototipo funcional en cada iteración y generar un análisis del desarrollo e implementación de este de manera incremental.

Por medio de esta metodología se han llevado a cabo varias etapas las cuales inician con el análisis del entorno y cómo a través de las nuevas tecnologías podemos aportar a la solución de las problemáticas con la implementación de un nuevo sistema; siguiendo a esto, se realizó la evaluación de los resultados, con los cuales se ayudó a tomar las mejores decisiones para la continuidad del producto y que este pueda desarrollarse de manera óptima. En la siguiente etapa, la cual comprendió el desarrollo, se realizó la creación de la pieza, teniendo en cuenta los avances investigativos que se van obteniendo mediante el análisis y evaluación de dicho proceso. Terminando con el ciclo del modelo en espiral, se realizó un planeamiento de los siguientes avances y posibles mejoras, las cuales pueden ser implementadas mediante el estudio y el análisis que se comprenden en la siguiente etapa de este modelo.

Todo lo que se ha desarrollado se realizó aprovechando y adelantando cada una de las fases por el análisis, la evaluación, el desarrollo y el planeamiento realizados en las diferentes etapas de la metodología y que han contribuido a la mejora del producto final.

Cabe aclarar que la segmentación de cada fase fue el resultado de estudio y planeación frente a los objetivos esperados y la experimentación necesaria para comprender claramente el comportamiento de cada componente y sus límites de trabajo.

3. Resultados

A continuación, se encuentran los desarrollos que se han obtenido durante la creación de la tableta piezoeléctrica, resultado de las diferentes fases progresivas que se obtuvieron con el manejo de la metodología mencionada.

3.1 Fase 1. Prototipo para generación visual de efecto piezoeléctrico por presión a ejes mecánicos y evidencia de energía mediante led



Figura 1. Prototipo desarrollado en la primera fase.

Fuente: elaboración propia.

En la primera fase de desarrollo de este producto, surgió la idea de implementar un sistema con el cual se aproveche el tránsito de las personas, y sus pisadas se conviertan en energía eléctrica. Es allí donde se comenzó a trabajar en un prototipado y la maquetación del resultado esperado. Para la creación del modelo, se utilizaron materiales reciclables con el fin de demostrar el funcionamiento de este sistema y la importancia que este puede generar en su implementación, con doble propósito (figura 1).

Usando herramientas con las cuales se cuenta cotidianamente como un teclado de computadora y algunos led, se realizaron las bases para este modelo, con el fin de poder evidenciar la propiedad eléctrica que poseen estas placas y su sustento de energía al ser sometidas a una tensión [10].



Figura 2. Software a implementar.

Fuente: elaboración propia.

Debido a que este sistema se ha aplicado con diferentes usos alrededor del mundo [11], no se tiene registro de una aplicación móvil que pueda medir en tiempo real los datos producidos por estos sensores, con lo cual, se decidió presentar junto con el prototipo, la idea de un *software* (figura 2) que permita la lectura de estos datos para un mejor control y manejo; además, este *software* estará diseñado con interfases sencillas, las cuales puedan ser llamativas y fáciles de entender para los usuarios. Tomando en cuenta toda esta información adquirida, se estima que la creación de este producto (*hardware* y *software*) va a generar una actitud positiva en la provincia, pues es novedoso para esta región, ya que cuenta con muy pocas fuentes de energía renovable implementadas en su territorio.

3.2 Fase 2: pruebas con materiales piezoeléctricos y evidencia visual de la energía producida

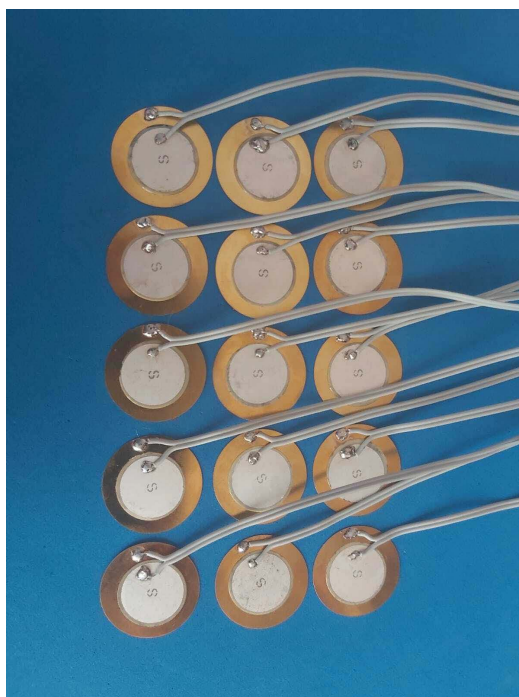


Figura 3. Sensores piezoeléctricos.

Fuente: elaboración propia.

Teniendo la idea clara e identificando cuál es el propósito al cual se pretende llegar con el desarrollo, se realizaron una serie de consultas que permitieron trabajar con materiales piezoeléctricos reales y recrear las primeras pruebas con estos sensores.

En principio se notó que al ejercer mucha presión directamente sobre un solo sensor, este genera una carga tan alta que es registrada como un pico de voltaje leído por ciertos dispositivos con esta capacidad, como se demostró con el multímetro utilizado en varias pruebas. Al notar que dicho producto era sensible al contacto directo, se creó una base de madera que afecta solo el centro de los sensores, así se produjo el mejor centro de acción posible y se distribuyó de mejor manera la fuerza ejercida para la producción de energía; además de esto, se tiene en cuenta el cuidado de los sensores y conexiones que tendrá internamente esta tableta.



Figura 4. Pruebas de los sensores piezoeléctricos.

Fuente: elaboración propia.

Al ser las primeras pruebas con sensores reales, se tuvo que utilizar una placa de prueba o *protoboard*, la cual sirvió como base para estos ensayos y conexiones iniciales, al enviar todas las conexiones de los sensores a una sola salida y hacer las pruebas de transformación de energía, se obtenían valores incoherentes, debido a que en el material piezoeléctrico la carga puede transitar en ambos sentidos, por esta razón se decidió conectar la salida de cada sensor a un diodo rectificador para que dicha energía transitara en un solo sentido, y se evitaran corrientes de retorno que pueden afectar el resultado de las pruebas [12].

Tabla 1. Ejemplo matriz de resultados Datos reales obtenidos de pruebas

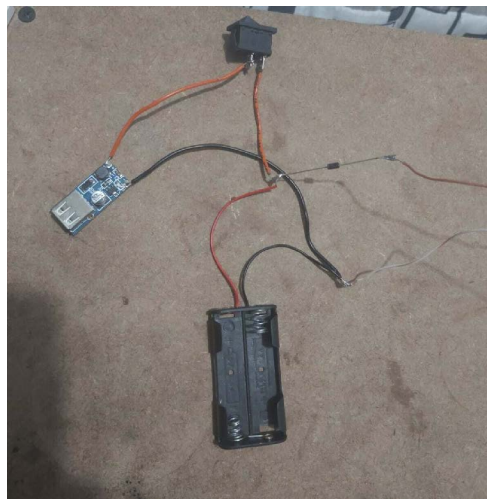
Masa	Pico de energía
54	28,7
72	33,5
84	38,9

Fuente: elaboración propia.

Después de que cada sensor contara con un diodo en su parte positiva en la placa de pruebas, se dispuso a conectar nuevamente todos estos hacia una sola salida para realizar las pruebas por medio del multímetro, después de analizar estos resultados se pudo concluir que, dependiendo de la masa y aplicación de fuerza de la persona sobre los transductores, se puede producir una carga de energía más alta. Los resultados de esta prueba fueron consolidados en una tabla 1, la cual sirvió como base para la identificación de posible generación de energía dependiendo la masa de la persona [13].

3.3 Fase 3. Almacenamiento y evidencia de energía almacenada mediante dispositivo *booster* USB 5v

Con la llegada de esta fase, se dejó atrás la placa de pruebas, con el fin de estudiar el comportamiento de esta tableta con sensores piezoeléctricos a través de un cableado, cada una de las salidas de los sensores se soldó a su respectivo diodo y se procedió a unir el cableado a una sola salida para volver a realizar las respectivas pruebas de generación de energía.

**Figura 5.** Banco de baterías.

Fuente: elaboración propia.

De esta forma se pudo identificar que se estaban generando datos y no se estaban aprovechando; también se observó que es posible consolidar estos datos, almacenarlos, leerlos y convertidos en información que puede ser de vital importancia para la toma de decisiones a la hora de buscar la implementación de este tipo de sistemas. Para lograr esto surgió la necesidad de guardar algunos de ellos. Así mismo, era preciso almacenar la energía producida, debido a que no se cuenta con un flujo constante de personas y eso provoca un desperdicio en las horas pico y un desabastecimiento en las horas poco transitadas, de allí surgió la idea de crear un pequeño sistema de almacenamiento de energía (figura 6), el cual estaba compuesto por, un diodo, un interruptor, un *booster* USB y un banco de pilas, los cuales sirvieron en principio para almacenar esta carga.

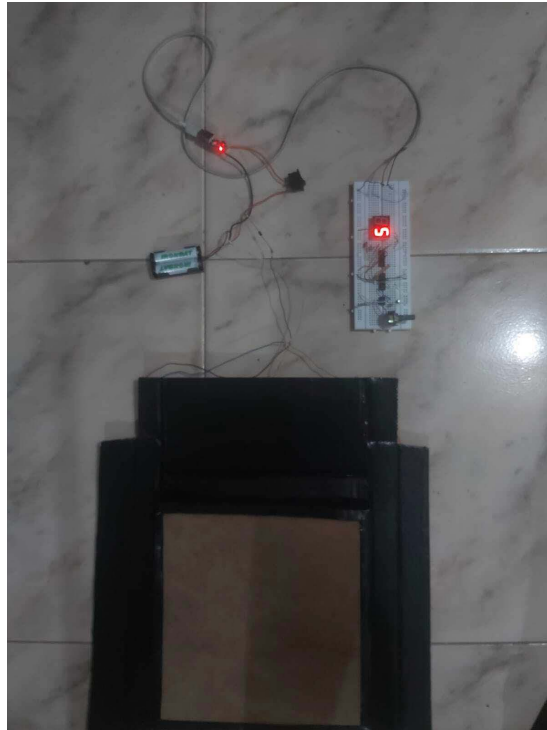


Figura 6. Demostración de almacenamiento de energía.

Fuente: elaboración propia.

Al realizar las conexiones antes mencionadas, fue evidente que el cableado se encontraba desordenado y podía infringir la normatividad RETI [14] y daba un mal aspecto al producto, por lo cual, utilizando materiales reciclables se le dio un diseño un poco más estético a la parte de la tableta piezoeléctrica. Al finalizar este proceso, se procedió a unir el sistema de almacenamiento de energía con la tableta piezoeléctrica, para así lograr la meta de esta fase y poder almacenar la energía generada.

Con la conexión de todos los componentes, se hicieron varias pruebas con la tableta, para generar y recolectar la energía que se requería en el sistema.

Para poder hacer una correcta observación de la energía producida, se creó un dispositivo simple en la placa de pruebas, el cual hacía uso de varios circuitos que, interconectados, formaban un circuito contador con visualización en display de 7 segmentos para la evidencia de la generación y acumulación energía del prototipo.

3.4 Fase 4. Conexión de sensores de monitoreo utilizando controlador Arduino uno para evidencia de datos digitales



Figura 7. Conexión y distribución interna de sensores.

Fuente: elaboración propia.

Con los datos recolectados en anteriores fases, se construyó una nueva tableta piezoeléctrica con materiales más resistentes para su uso, internamente contó con una distribución de 14 sensores piezoeléctricos conectados en una estructura serie-paralelo [15], alineados de tal forma que se puede aprovechar efectivamente la presión

ejercida sobre esta, lo cual se consideró una mejora del producto, siguiendo con la metodología aplicada.

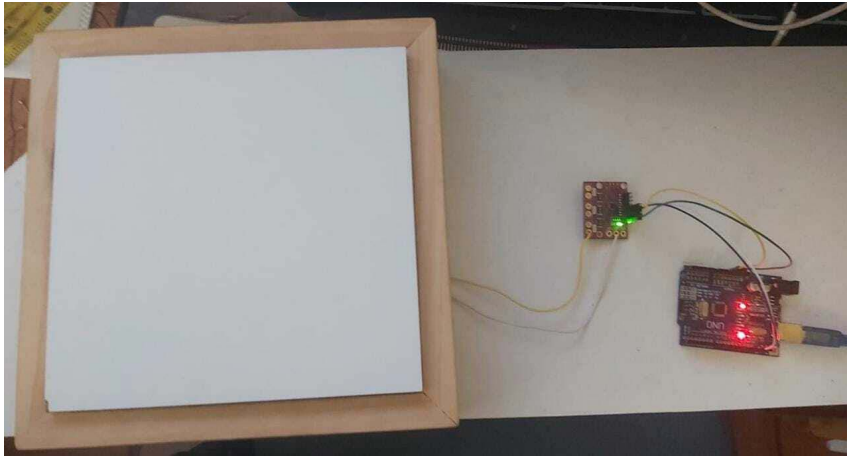


Figura 8. Tableta piezoeléctrica conectada a sensores de monitoreo.
Fuente: elaboración propia.

Con estos resultados positivos, se dio implementación a sensores que cumplieran con las necesidades requeridas para el monitoreo de los datos en tiempo real de este sistema con ayuda del sensor de voltaje INA3221 y la tarjeta microcontroladora Arduino uno, los cuales estaban conectados al nuevo diseño de la tableta piezoeléctrica (figura 8). Se obtuvieron datos visuales de la generación de energía en la tableta por medio del monitor serial emulado por la placa de Arduino y el *firmware* desarrollado.

```

SDU_Arduino_INA3221_Test
SDU_Arduino_INA3221_Test Arduino 1.8.16
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

SDU_Arduino_INA3221_Test
Serial.begin(115200);
Serial.println("SDU_Arduino_INA3221_Test");
Serial.println("Measuring voltage and current with ina3221 ...");
ina3221.begin();

Serial.print("Manufactures ID=0a");
int MID;
MID = ina3221.getManufID();
Serial.println(MID,HEX);
}

void loop(void)
{
  Serial.println("-----");
  float shuntvoltage1 = 0;
  float busvoltage1 = 0;
  float current_mA1 = 0;
  float loadvoltage1 = 0;

  busvoltage1 = ina3221.getBusVoltage_V(LIPO_BATTERY_CHANNEL);
  shuntvoltage1 = ina3221.getShuntVoltage_mV(LIPO_BATTERY_CHANNEL);
  current_mA1 = ina3221.getCurrent_mA(LIPO_BATTERY_CHANNEL); // minus is to get the "sense" right. - means the battery is charging, + that it is discharging
  loadvoltage1 = busvoltage1 + (shuntvoltage1 / 1000);
}

```

Figura 9. Primer desarrollo de código en ide de Arduino.
Fuente: elaboración propia.

Para la correcta evidencia de los datos, se utilizó el entorno de desarrollo de Arduino, en el cual, con ayuda de librerías cargadas en GitHub por parte del proveedor del sensor de voltaje, se pudo cargar exitosamente el código (figura 9) [16]; con algunas modificaciones se adaptó a los requerimientos de en ese momento, esto permitió visualizar, por medio del monitor de Arduino, los datos obtenidos por la tableta, y se logró un avance exitoso en esta etapa de la visualización de los datos en tiempo real de los voltajes generados por los transductores proporcionales a la presión que se efectúa en sobre la superficie de la tableta.

3.5 Fase 5. Pruebas de recolección y análisis de datos para la implementación del sistema piezoeléctrico

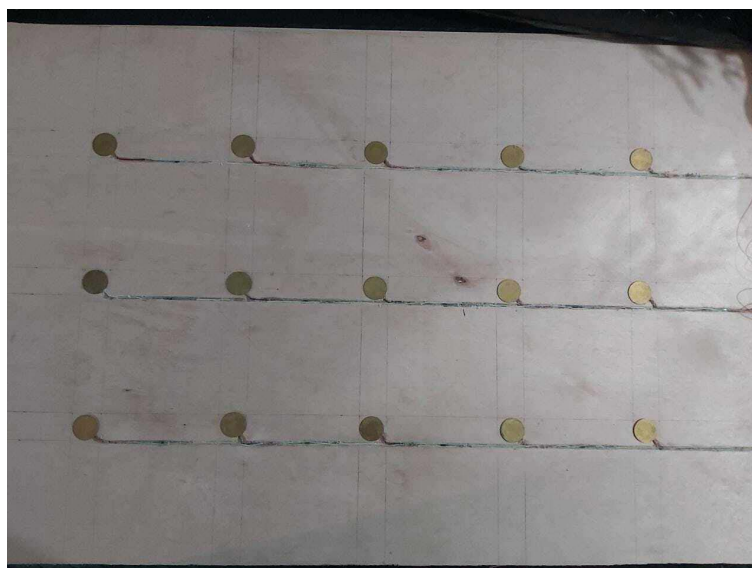


Figura 10. Distribución interna de sensores en tapete piezoeléctrico.

Fuente: elaboración propia.

Por medio de un avance rápido, debido al conocimiento obtenido en las anteriores fases, en esta etapa se creó una tableta más amplia con el fin de recolectar y transformar la mayor energía mecánica posible para que pudiese ser estudiada y probada, utilizando 15 sensores en la distribución interna de la tableta en una matriz de 3*5. Se conectó el nuevo periférico de almacenamiento de energía, compuesto por una batería de 12 voltios 7 amperios, capaz de almacenar una buena cantidad de energía, de igual manera, este banco de baterías se conectó a dos bombillos led que encienden de manera simultánea sin ningún problema, con la autonomía suficiente para su implementación en ambientes reales.



Figura 11. Pruebas reales en área de aplicación con la nueva tableta.

Fuente: elaboración propia.

Todo esto fue implementado durante un evento de presentación de proyectos, en el cual todos los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cundinamarca seccional Ubaté participaban, por lo que fue una buena estrategia para realizar pruebas del sistema en la entrada del claustro, ya que es donde se contaba con mayor afluencia de personas, lo que hizo que esta fuera una de las mejores zonas para demostrar el funcionamiento de este producto.

Para la correcta evidencia de los datos se tuvo que modificar ciertamente el código para que se acoplara a las necesidades del proyecto y se pudiera dar una evidencia clara de los datos que se podían recolectar.

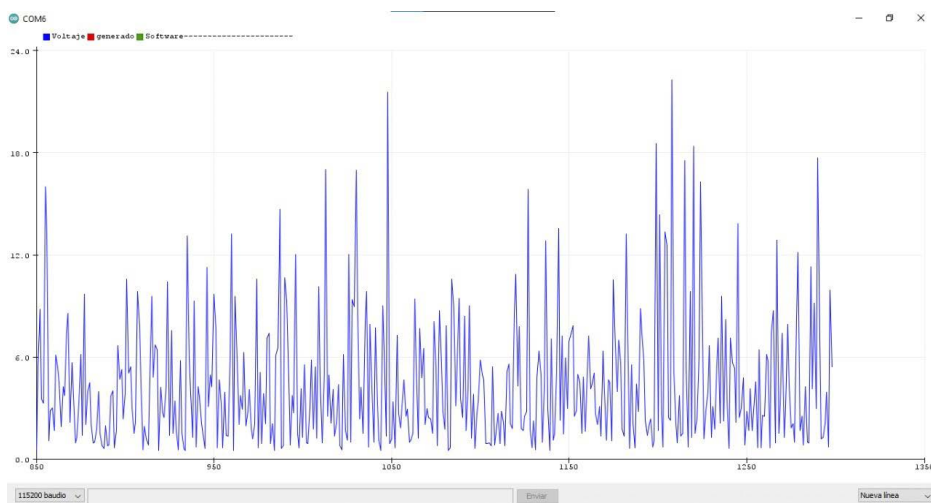


Figura 12. Visualización dinámica de datos recolectados.

Fuente: elaboración propia.

Por medio de los datos obtenidos, se identificaron varios aspectos clave para la mejora del producto, gracias al monitor serie del IDE de Arduino (figura 12), por ejemplo, que no se podría cargar directamente la batería con este sistema, ya que ocasionaba cargas tan altas que podían afectar el rendimiento del almacenamiento [17]; como también que puede existir un promedio de generación de energía de entre 10v y 8v si se implementara en esta zona, lo que configura una evidencia significativa del impacto que crearía el sistema si es implementado en esta área de entrada, con estos datos surgieron ideas que entraron en el desarrollo de la siguiente fase del producto.

3.6 Resultados y discusión

La elaboración de este sistema se realizó desde un principio, visionando su implementación en la Universidad de Cundinamarca seccional Ubaté, y, desde allí, su enfoque sigue siendo el mismo. Con la mentalidad de crear un producto de calidad que pueda aportar significativamente al desarrollo sostenible de la universidad; así mismo, se continúan generando diferentes fases mediante la implementación de la metodología espiral que avanzan de manera significativa.



Figura 13. Universidad de Cundinamarca seccional Ubaté.

Fuente: <https://www.ucundinamarca.edu.co/>

El producto final con el que contará la Universidad de Cundinamarca será una tableta piezoeléctrica, en la cual, mediante una aplicación multiplataforma conectada a una base de datos no relacional [18], se podrán evidenciar los datos de los voltajes en tiempo real por los usuarios que transiten en este lugar, con el fin de generar un control y reporte de la transformación de energía que se puede tener en el transito constante de personas en un área determinada.

Debido a que se puede generar un ahorro de recursos con este sistema, dichos medios pueden ser utilizados para la creación de más tapetes piezoeléctricos, hasta cubrir las zonas más concurridas de este lugar y conseguir una independencia de los proveedores de energía eléctrica.

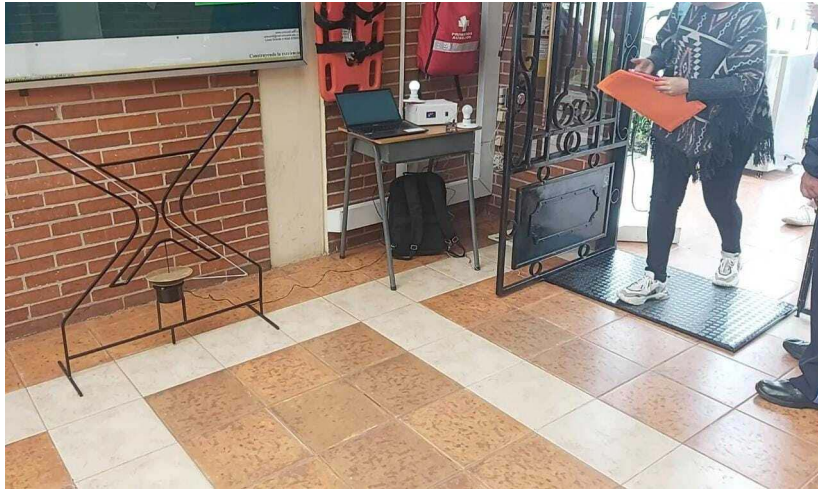


Figura 14. Ilustración de flujo de personas sobre tabletas piezoeléctricas.

Fuente: elaboración propia.

Con esta implementación del sistema en la universidad se generará un gran impacto social, ya que, al ser un producto novedoso en la región, llamará la atención del público y más personas querrán unirse a la iniciativa de trabajar y utilizar energías renovables. Esto lo impulsará y no solo se quede en la universidad, si no que llegue a diferentes lugares como colegios, espacios deportivos o parques donde se pueda registrar una cantidad considerable de paso de personas con el fin de ahorrar recursos públicos que en la actualidad siguen aumentando [19].

3.7 Solución a pequeña escala

Como se evidencia en la mayor parte del documento, la piezoelectricidad es una tecnología que nos permite generar energía eléctrica con un bajo impacto al medio ambiente [20], caso contrario de lo que se hace con otras fuentes masivas de energía que se encuentran en funcionamiento actualmente, las cuales por sus procesos causan impactos directos al medio ambiente, y afectan directamente la flora, la fauna, el aire y el agua, desbalancean los ecosistemas y ocasionan un impacto negativo en los mismos. Estas afectaciones producen CO₂ (dióxido de carbono), el cual no solo afecta

directamente a los ecosistemas, sino que además puede llegar a afectar la salud de las personas.

En Colombia, un alto porcentaje de energía eléctrica es generado por parte de las empresas hidroeléctricas, las cuales desde su inicio de desarrollo hasta su puesta en marcha, afectan la fauna y la flora local, además, han traído consecuencias sociales a grandes escalas, como las centrales hidroeléctricas que han presentado grandes novedades e inversiones económicas altas [21].



Figura 15. Impacto implementación sistema piezoeléctrico en UDEC Ubaté.

Fuente: elaboración propia.

Como opción para disminuir este tipo de impactos, se realiza esta propuesta a través del sistema piezoeléctrico, en la Universidad de Cundinamarca seccional Ubaté, que permitirá concientizar a las personas sobre el uso de las energías que presentan bajos impactos al medio ambiente [22], como lo es la piezoelectricidad; además al ser un producto visible y estar ubicado en una zona con mucha afluencia de público, podrá recordar a los individuos sobre la importancia de evitar la contaminación y de apoyar la investigación de nuevas formas de generación de energía. Para ayudar a disminuir la huella de los métodos tradicionales, también se debe tener en cuenta que se pueden llegar a ahorrar recursos que podrán ser destinados a otras actividades, ya sea a niveles familiares o gubernamentales, es por eso, que con este sistema se le da una opción sólida que a pequeña escala busca reducir los costos e impactos ambientales que se puedan dar en el entorno universitario.

3.8 Piezoelectricidad a bajo costo

En la actualidad, nos estamos limitando con los recursos naturales en el mundo [23], esto hace que, al implementar un sistema renovable como es la piezoelectricidad, se busque la mejor forma de utilizar y aprovechar los recursos naturales.

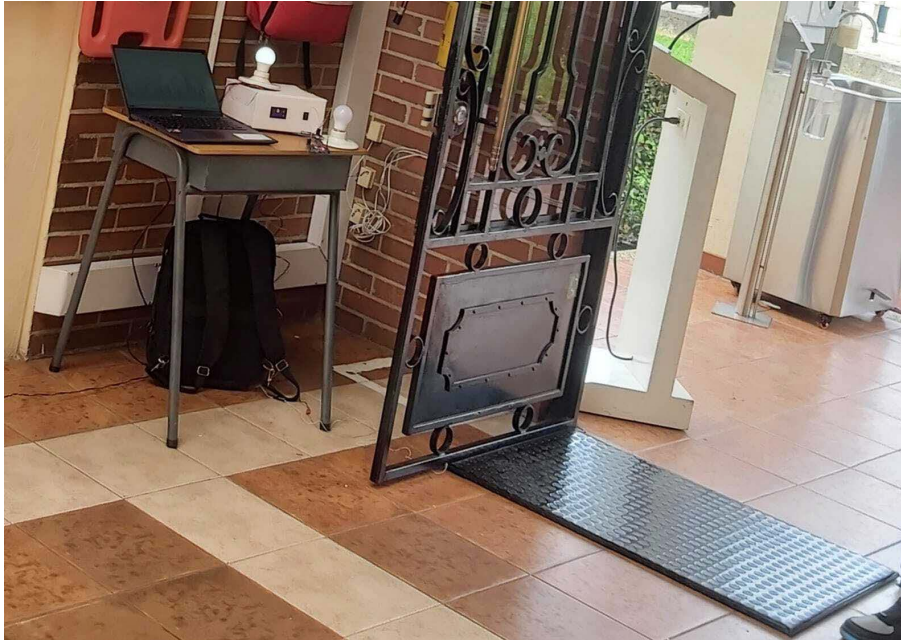


Figura 16. Ilustración encendido de bombillo con energía piezoeléctrica.

Fuente: elaboración propia.

Como el material que permite este efecto es el cuarzo, se busca dentro de la investigación encontrar una mejor forma de utilizar y aprovechar este recurso. Debido a que hoy en día estos sensores son creados sintéticamente, se reduce la necesidad de una explotación masiva de este producto y esto puede disminuir el impacto en su obtención de minería, de esta manera se han realizado diferentes procesos en los que se decidió trabajar con pequeñas celdas con material piezoeléctrico, a base de cuarzo, que son producidos por empresas en el sector tecnológico.

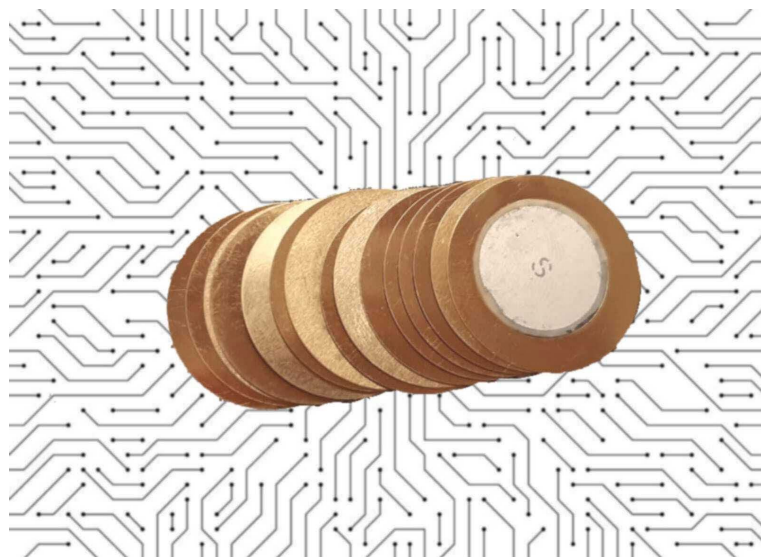


Figura 17. Ilustración referente a los sensores adquiridos

Fuente: elaboración propia.

Con ayuda de las pruebas realizadas en todas las fases, se halló que los sensores piezoeléctricos al ser utilizados para diferentes escenarios como los musicales [24], también tienen un bajo costo, con lo cual, crear una tableta piezoeléctrica de pocas dimensiones no representará un gasto elevado para quienes decidan hacer parte de este tipo de iniciativas; lo que afectará en el proceso será su almacenamiento y evidencia de energía, ya que en los últimos años, y por las crisis económicas acaecidas, se han elevado los costos de los productos electrónicos como las baterías, elemento de mayor uso para el almacenamiento y aprovechamiento de energía.

3.9 Proyecciones

En la actualidad, se está trabajando en un módulo para la transmisión remota e inalámbrica de datos hacia una base de datos no relacional, para tener una base de análisis del comportamiento de la generación de energía y, en consecuencia, la toma de decisión para escalar el sistema según la necesidad del entorno en donde sea instalado con el fin de crear un *software* de calidad [25].

Se quiere con esto conseguir un cliente de supervisión para verificar que el prototipo esté bajo las condiciones de ejecución planeadas y facilitar el mantenimiento y rastreo de fallas.

4. Discusión y conclusiones

Durante la primera fase de desarrollo se pudo determinar que implementar este sistema en una zonas públicas como la Universidad de Cundinamarca traería grandes beneficios, como actualmente se ve reflejado en los estudios sobre el sistema piezoeléctrico del tren de Tokio, el cual es capaz de alimentar lumínicamente la estación utilizando solo las pisadas de sus clientes.

Por lo esto, en la segunda fase se comenzó a implementar sensores para variables reales [26], con la finalidad de recrear un sistema renovable y que no tenga afectaciones en la naturaleza, y que pueda aportar al ahorro de recursos dentro de la infraestructura a implementar, con lo cual, mediante diferentes pruebas aplicadas, se pudo determinar que este sistema es capaz de generar picos de carga de voltaje tan altos que llegaron a quemar una placa de pruebas, por lo tanto, se debe tener precaución a la hora de aplicarles alguna fuerza excesiva a dichos sensores.

Teniendo en cuenta estas recomendaciones, se utilizaron materiales resistentes para lograr mejores resultados, esto con el fin de crear un sistema piezoeléctrico real que pueda abarcar toda la entrada de la Universidad de Cundinamarca seccional Ubaté, y alimentar la infraestructura con energía destinada a diferentes usos dentro de este edificio. Además, se tuvo en cuenta que en la información que existe sobre los sistemas piezoeléctricos implementados en todo el mundo no se informa de un registro electrónico o una base de datos que sea capaz de reunir la información pertinente del funcionamiento de este sistema, es por ello que este tendrá la ventaja de contar con una aplicación multiplataforma, donde se llevará el registro del almacenamiento de energía que se está generando, también de cuánta energía podría producirse día a día dependiendo de la afluencia y uso que se le dé a este sistema.

4.1 Conclusiones

Con la toma de pruebas a diferentes personas pertenecientes a la Universidad de Cundinamarca seccional Ubaté, se puede conocer el interés e impacto de la piezoelectricidad, se tiene en cuenta que al contar con una amplia afluencia de personas este sistema configurará un gran beneficio.

Mediante el desarrollo del producto, se observaron las propiedades piezoeléctricas al transformar diferentes choques de presión en energía eléctrica; también se realizó un análisis de los diseños de las tabletas para poder obtener la mejor distribución de los sensores en la tableta para desarrollar la mejor conexión y obtener resultados positivos; además se evidenció que mediante el entorno de desarrollo de

Arduino se puede obtener un programa que sirve para el monitoreo de estos voltajes recolectados que provienen del sensor de voltaje conectado al Arduino.

Con la recolección de información por parte de estos sensores se realizará la creación de la aplicación multiplataforma con la que contará el sistema para evidenciar gráficamente los datos estadísticos para controlar y regular el monitor de este producto.

Mediante el análisis de tránsito se debe tener en cuenta el sistema con el que se realizará la recolección de carga, esto con el fin de no afectar el rendimiento ni afectar ningún mecanismo.

Adicional a la generación en bruto de voltaje, es necesario un cálculo para el almacenamiento efectivo de energía y la elección correcta de componentes para esta tarea, así como una evaluación de la carga para no superar los límites de trabajo del sistema.

5. Referencias

- [1] “Más del 90% de la población mundial respira aire contaminado”, *National Geographic*, 2019, [En línea]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/mas-del-90-poblacion-mundial-respira-aire-contaminado_10734
- [2] Organización Mundial de la Salud y Organización Panamericana de la Salud, “Calidad del aire”. 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
- [3] Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica, “Acolgen, la buena energía”, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://acolgen.org.co/>
- [4] Applied Physics Letters, “The direct piezoelectric effect in the globular protein lysozyme”, *Appl. Phys. Lett.* vol. 111, 142902, 2017). doi: <https://doi.org/10.1063/1.4997446>
- [5] C. Woodford, “Piezoelectricity”, *Explain that Stuff*, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://www.explainthatstuff.com/piezoelectricity.html>
- [6] A. Arizaga y M. G. González, “Sistemas piezoeléctricos en el tren urbano de Guadalajara, México: entropía y negentropía”, *Redes de Ingeniería*, vol. 9 n.º 2, 2018, pp. 51-62. doi: <https://doi.org/10.14483/2248762X.14658>
- [7] East Japan Railway Company, “Demonstration Experiment of the ‘Power-Generating Floor’ at Tokyo Station”, 2019, pp 1-3. [En línea]. Disponible en: <https://www.jreast.co.jp/e/development/press/20080111.pdf>

- [8] D. A. Tamayo y N. K. Cardozo “El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá”, tesis de pregrado, Universidad Católica repositorio institucional, 2017, pp. 16-85. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10983/26272>
- [9] H. Sy Corvo, “Modelo espiral: historia, características, etapas, ejemplo”, *Lifeder*, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/modelo-espiral/>
- [10] “¿Cuáles son los materiales piezoeléctricos?”, *Tus Consejos Rápidos*, 2021, [En línea]. Disponible en: <https://tusconsejosrapidos.com/cuales-son-los-materiales-piezoelctricos/>
- [11] L. Borja, “En el metro de Tokio los viajeros generan electricidad con sus pisadas”, *Tuexperto.com*, 28-dic.-2008. [En línea]. Disponible en: <https://www.tuexperto.com/2008/12/28/en-el-metro-de-tokyo-los-viajeros-generan-electricidad-con-sus-pisadas/>
- [12] “¿Para qué sirven y cómo funcionan los diodos? - guía introducción a los diodos”, *Solectro*, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://solectroshop.com/es/blog/para-que-sirven-y-como-funcionan-los-diodos-guia-introduccion-a-los-diodos-n45>
- [13] J. M. Barbero, “Piezoelectricidad, ¿qué es eso?”, *jm3studio*, 2014, [En línea]. Disponible en: <https://jm3studio.com/piezoelectricidad-que-es-eso/>
- [14] José D. Orduz, “Instructivo para cumplimiento RETIE en obras eléctricas de uso final para grupo eléctrico colombiano”, tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11349/16334>
- [15] “Circuitos en paralelo”, *Academia3E*, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://academia3e.com/comunidad/circuitos-en-paralelo/>
- [16] “Sensor de Voltaje y Corriente INA3221”, *SwitchDoc Labs*, 2019, pp. 1. [En línea]. Disponible en: <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-voltaje-y-corriente-ina3221-tres-canales-i2c-26v/>
- [17] “¿Qué pasa si se carga una batería con más voltaje?”, *Breve con Sejo*, 2019. [En línea] Disponible en: bit.ly/3o2t272
- [18] “Estructura tu base de datos”, *Firebase*. 2022. [En línea] Disponible en: <https://firebase.google.com/docs/database/web/structure-data?hl=es-419>
- [19] C. A. González-González, F. Arévalo-Tapias y J. Hernández-Gutiérrez, “Análisis de seguridad en redes LPWAN para dispositivos IoT”, *Rev. Vínculos*, vol. 16, n.º 2, pp. 252-261, 2019. Doi: <https://doi.org/10.14483/2322939X.15712>

- [20] “¿Qué son los materiales piezoeléctricos?”, *Science19*, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3KnlvHo>
- [21] Alianza Unicosta y El Heraldo, “Los problemas ambientales de la generación hidroeléctrica”, *El Heraldo*, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.elheraldo.co/barranquilla/los-problemas-ambientales-de-la-generacion-hidroelectrica-657793>
- [22] Equipo Welife, “Crisis energética. Energías renovables: la vía de escape del cambio climático” *Welife Sustainable Living*, 2022. [En línea]. <https://www.welife.es/planeta/energias-renovables-solucion-cambio-climatico/>
- [23] S. Portillo, “Agotamiento de los recursos naturales: causas y consecuencias” *Ecología verde*, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/agotamiento-de-los-recursos-naturales-causas-y-consecuencias-3396.html>
- [24] M. Graciosi, “Micrófonos piezoeléctricos” *Sonido Escénico*, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://sonidoescenico.com/2019/04/25/microfonos-piezoelectricos/>
- [25] J. A. Mera Paz, “Software quality testing process analysis”, *Ingeniería Solidaria*, vol. 12, n.o 20, 2016, pp. 163-176. doi: <https://doi.org/10.16925/in.v12i20.1482>
- [26] S. A. Vaca, E. Serrano Vivas, y J. E. Rangel Díaz, “Ingeniería inversa para dispositivos electrónicos: estado de temperatura y humedad del suelo”, *Vis. Electron.*, vol. 13, n.º 1, pp. 123-134, 2019. doi: <https://doi.org/10.14483/22484728.14404>