

Columna falsa de baldosas piezoeléctricas: energía libre para estudiantes de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.



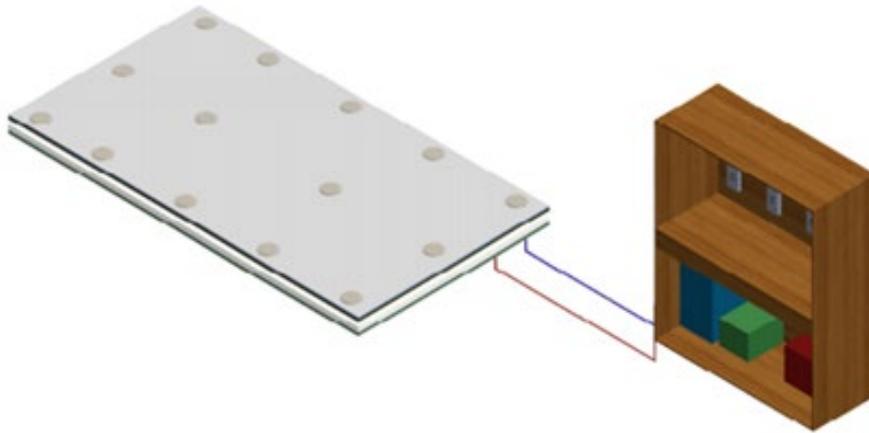
Por: Anwar Julio Yarín Achachagua*, Jorge Augusto Sánchez Ayte**, Edgard Adib Hernández Pachas***, Kevin José Rodríguez Aguirre****, Patrick Ricardo Abanto Arotingo*****, Luis Alberto Ttito Sucre*****

<https://pixabay.com/es/photos/gente-caminar-la-carretera-6967609/>

Energía libre para todos al alcance de un paso

Las personas generan energía de muchas formas en cada una de sus actividades; la energía no solo se produce por el uso de la fuerza bruta, sino también en las actividades más simples y cotidianas, por ejemplo, caminar (Concha & Zamalloa, 2017); la fuerza que realizan las pisadas emplea gran cantidad de energía almacenada que se pierde en la superficie que se pisa. En la actualidad existen diferentes medios para poder aprovechar esta energía mecánica que se genera casi involuntariamente; la piezoelectricidad genera energía por pisadas y es proporcional al accionamiento del piezoeléctrico (Burbano, 2021).

- * Doctor en Educación, Docente de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Lima, ayarin@untels.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-2369-129X>
- ** Magister en Educación, Docente de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Lima, jsanchez@untels.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0001-9734-3381>
- *** Bachiller de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Lima, edg.her.093@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2074-7318>
- **** Estudiante de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Lima, 2016100080@untels.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-3541-0654>
- ***** Estudiante de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Lima, 016100087@untels.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-4622-4766>
- ***** Estudiante de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Lima, luislibra45@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3183-8960>



Fuente: Autores (2021)

La búsqueda de distintas fuentes energéticas por la demanda creciente de energía ha llevado a emplear el esfuerzo humano utilizado en la locomoción diariamente, de tal forma que se pueda reaprovechar para distintos ámbitos y no interrumpa con la vida de este (Sotelo & Nieto, 2018). Cada persona será capaz de transformar ese tipo de energía (Benavente, 2020) que se suscita en el hecho de su almacenamiento y distribución hacia una red eléctrica presente en una casa de estudio. En dicho caso se cuestiona ¿puede un sistema piezoeléctrico de tipos PZT obtener energía a través de las pisadas, así como abastecernos de la suficiente?

La piezoelectricidad

Minazara, Vasic & Costa (2013) definen la piezoelectricidad como un fenómeno físico en el que por medio de brindar un diferencial eléctrico se realizan choques mecánicos. Por su parte, Bathe (1996) menciona que esta interacción puede darse de forma inversa de manera que el choque de pequeños cristales libera un diferencial de potencial eléctrico. Minazara et al. (2013) agregan que este choque de cristales puede ser producido por una presión o una carga presente en el material piezoeléctrico. Gonzales et al. (2009) añaden que el diferencial eléctrico puede ser positivo o negativo en función del sentido de orientación de la fuerza aplicada al material piezoeléctrico. Estos mismos autores indican que el flujo de electrones

va direccionado por el sentido de dirección de la fuerza aplicada y, por ende, se puede generar un sentido positivo o negativo de flujo de electrones dentro del material piezoeléctrico.

Gonzales, Cesari y Vicioli (2009) describen que el flujo de electrones va direccionado por el sentido de dirección de la fuerza aplicada y por ende se puede generar un sentido positivo o negativo de flujo de electrones dentro del material piezoeléctrico.

Complementariamente, la ecuación que emplea Sepúlveda (2014) puede expresar de forma simple la relación de fuerza y diferencial eléctrico; se trata de la ecuación tensorial que muestra el esfuerzo mecánico con constantes eléctricas y da a conocer la producción eléctrica. Las mismas fórmulas son empleadas en Carbonari (2003) y Gonzales et al. (2009) pero con cambios en la representación de las variables con otras letras.

$$T = C^E * S - e^t * E \quad (1)$$

$$D = e * S + \epsilon^S * E \quad (2)$$

T: Vector de esfuerzos

S: Vector de deformación

E: Vector de Campo Eléctrico

D: Vector de desplazamiento eléctrico

CE: Matriz de elasticidad

e: Matriz de coeficientes piezoeléctricos

e^t: Matriz de coeficientes piezoeléctricos transpuesta

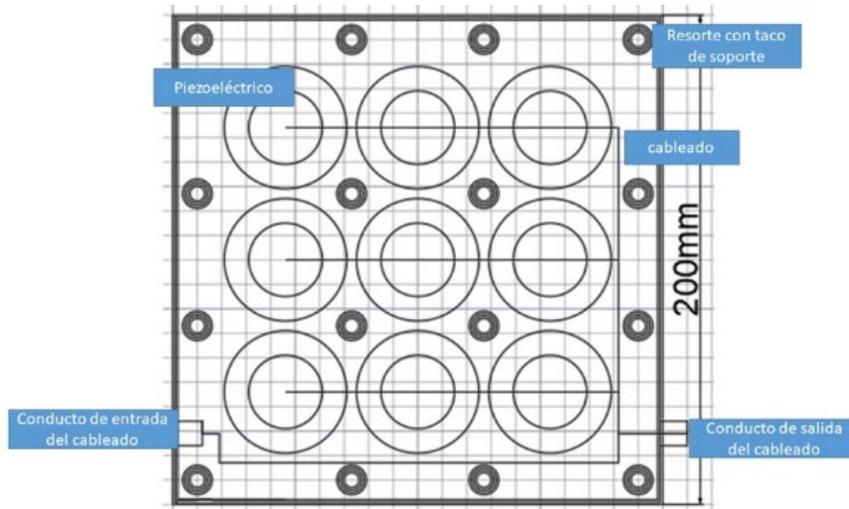
ε^S: Matriz de constantes dieléctricas

Resultados

Modelamiento: los piezoeléctricos cuentan con un diámetro de diseño de 5 cm, la barra tiene una altura de 7 mm y el resorte un tamaño de 13 mm, el área de la baldosa es de 20cmX20cm y presentan

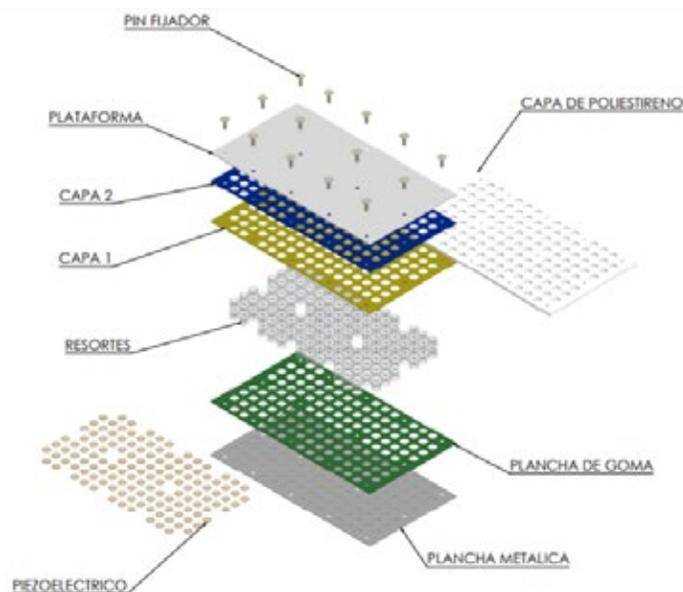
puntos de unión con la parte superior de 2 cm que también tienen resortes. En la parte baja existen cables de conexión en el interior de la baldosa y que salen unidos a un mismo cable que presenta aberturas para conectarse con otras baldosas o ir a la red de distribución de energía.

Figura 1. Vista Superior del diseño



Fuente: Autores (2021)

Figura 2. Ubicación de los equipos en modelamiento en vista explosionada



Fuente: Autores (2021)

Cálculos

Para este primer caso de proyección de la energía que podría producir una persona, se tiene presente una medida promedio de un pie humano de 26,5 cm de largo y una extensión de grosor de 6 cm en el tobillo y 11 cm en la base de los dedos. Se

halla una masa aproximada promedio entre las personas de pruebas disponibles de 75 Kg para efectos de cálculo. Esta cifra puede ir cambiando, dependiendo del grupo de muestra para prueba del dispositivo planteado. Se planea comprar resortes que tengan la característica mecánica de coeficiente de elasticidad de 36N/m.

Peso: $\omega = m * a$

$$\omega = 75\text{kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 735,75\text{N} \quad (3)$$

Fuerza elástica: $F = l * X$

$$F = 4\text{mm} * 36\text{N/m} = 0,144 \text{ N} \quad (4)$$

Área de contacto del pie o en la pisada: $Ap = l * a$

$$Ap = 26,5\text{cm} * 6\text{cm} + 11\text{cm}/2 = 225,25\text{cm}^2 \quad (5)$$

Número de resortes en una pisada:

$$(n^\circ \text{ de resortes})/25 = 225,25 \text{ cm}^2/400 \text{ cm}^2 = 14,08 \text{ Resortes} \quad (6)$$

Fuerza máxima de los resortes es de:

$$F = 14,08 \text{ Resortes} * 0,144 \text{ N} = 2,016\text{N} \quad (7)$$

Fuerza resultante entre la fuerza ejercida por la masa y la fuerza ejercida por la compresión de los resortes: $FR = \omega - F$

$$FR = 735,75\text{N} - 2,016\text{N} = 733,73\text{N} \quad (8)$$

Esta fuerza ejerce un esfuerzo T sobre el área del pie que está en contacto con la baldosa piezoeléctrica que presenta un área de 225,25cm².

$$T = FR/A \quad (9)$$

$$T = 733,73\text{N}/225,25 \text{ cm}^2 = 32574,03 \text{ N/m}^2 \quad (9)$$

Si se estima que la deformación del piezoeléctrico por cada pisada es de 0,000002 y se tiene presente la siguiente tabla de coeficientes:

Tabla 1. Tabla de coeficientes

Piezoeléctrico	c	e	ε
PZT-5A	C33	e33	ε1
PZT-5H	C44	e51	ε3

Nota: elaboración propia con datos extraídos de Sepúlveda (2014)

Según la ecuación los cálculos para PZT-5A dan en (1): $T=C^E * S - e^t * E$

$$32574,03 \text{ N/m}^2 = 11,1 \times 10^{10} \text{ N/m}^2 * 0,000002 - 916 * 8,85 \times 10^{-12} * E \quad (1)$$

$$E = 3,69 \times 10^{12} \text{ V/m}$$

Remplazando en (2): $D=e*S+\epsilon^S.E$

$$D = 15,8 \text{ cm}^{-2} * 0,000002 + 8,85 \times 10^{-12} * 4,19 \times 10^{12} \text{ V/m} \quad (2)$$

$$D = 10,5 \text{ V}$$

Según la ecuación los cálculos para PZT-5H da en (1): $T=C^E*S - e^t.E$

$$32574,03 \text{ N/m}^2 = 2,11 \times 10^{10} \text{ N/m}^2 * 0,000002 - 830 * 8,85 \times 10^{-12} * E \quad (1)$$

$$E = 1,31 \times 10^{12} \text{ V/m}$$

Remplazando en (2): $D=e*S+\epsilon^S.E$

$$D = 15,8 \text{ cm}^{-2} * 0,000002 + 8,85 \times 10^{-12} * 1,31 \times 10^{12} \text{ V/m} \quad (2)$$

$$D = 11,59 \text{ V}$$

Discusión

Es posible poder transformar energía metabólica del cuerpo en energía eléctrica mediante las pisadas realizadas por las personas al caminar; esto coincide con lo realizado por Cifuentes (2013), al señalar que esta energía se va almacenando en el sistema captador, plataforma piezoeléctrica y se acumula en su batería interna.

Las cargas eléctricas generadas son sostenibles para alimentar equipos electrónicos de bajo consumo. Se logra captar alrededor de 10,5 a 11,59 V considerando un peso completo de una persona, pero en casos prácticos esta distribución energética se ve reducida a la mitad por efectos de variaciones en el área de contacto de la zona del pie y de la distribución de la masa del cuerpo, siendo esta variable en rangos de entre 25% al 100% como se puede observar en la tesis de "Diseño de un colector de energía piezoeléctrico (Energy Harvesting), mediante optimización topológica que maximice la transformación de energía mecánica en eléctrica generada por un ser humano al caminar" (Sepúlveda, 2014).

Conclusiones

Se concluye que este dispositivo piezoeléctrico es eficiente como modo alternativo de reaprovechamiento

de energía para elementos electrónicos de bajo consumo, puesto que llega a producir tensiones entre 10,5 a 11,59V.

Así mismo, se requiere de un área extensa para poder implementar el uso de esta tecnología de aproximadamente 225,25 de superficie de contacto para poder generar lo visto en las ecuaciones descritas en el proyecto.

También se observa que el piezoeléctrico más adecuado para su uso es el piezoeléctrico PZT-5H el cual logra producir en promedio 11,59 V con la transformación de la energía metabólica humana con una persona de 75kg; en tanto para cerámicas piezoeléctricas PZt-5^a la producción energética ronda los 11,59V.

Se concluye que el flujo de transformación eléctrica no es constante y es directamente proporcional a la cantidad de personas, por ello, se aprovecha en captar la mayor parte de energía eléctrica en las horas de tránsito de más personas al caminar por la plataforma piezoeléctrica, almacenando en baterías, consumiendo la energía por medio de un regulador que permita distribuir eficientemente la energía transformada.



Origen del artículo: Proyecto “Columna falsa de cargadores de celulares libre de baldosas piezoeléctrica para la Biblioteca de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur”, Concurso de Proyectos de Investigación para el Desarrollo de la Ciencia, Tecnología e Innovación UNTELS-Modalidad “Sin Financiamiento (2019-2021)”

Referencias

- Bathe, K. (1996). *Finite element procedures*. Prentice Hall
- Benavente P., Leslie L. (2020) *Reducción de costos energéticos simulando un sistema piezoeléctrico, para la UTP – Sede Arequipa*. Universidad Tecnológica del Perú
- Burbano B., Jhonathan F. (2021). *Implementación de un prototipo funcional generador de energía eléctrica a través de una baldosa con elementos piezoeléctricos*. Universidad Católica de Colombia.
- Carbonari, R. (2003). *Projeto de atuadores piezoeléctricos flexionais usando o método de otimização topológica.*, *Dissertação de Mestrado*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Cifuentes G., Jorge A. (2013). *Baldosa Piezoeléctrica para Alimentar Sistemas de Iluminación de Bajo Consumo Energético*. Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- Concha R., Pablo R. & Zamalloa R., Rodrigo F. (2017). *Proyecto de viabilidad para implementar un sistema de generación de energía renovable en las estaciones de la línea 1 del tren eléctrico de Lima*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Gonzales, Adolfo., Cesari, Ricardo., & Vicioli, Rubén, (2009). *Materiales piezoeléctricos y efecto piezoeléctrico*. Universidad Tecnológica Nacional.
- Gutiérrez C., Jorge A, (2013). *Baldosa piezoeléctrica para alimentar sistemas de iluminación de bajo consumo energético*. Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/730>
- Minazara, E., Vasic, D., & Costa, F., (2013). *Piezoelectric generator harvesting bike vibrations energy to supply portable devices*. Université de Cergy-Pontoise
- Sepúlveda O., Esteban (2014). *Diseño de un Colector de Energía Piezoeléctrico (Energy Harvesting) Mediante Optimización Topológica que Maximice la Transformación de Energía Mecánica en Eléctrica Generada por un Ser Humano al Caminar*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52878>
- Sotelo D., Rodrigo & Nieto C., Edwin D. (2018). *Análisis técnico y económico del potencial de generación eléctrica a través de dispositivos piezoeléctricos*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/15578>

