

**Artículo de divulgación**<https://doi.org/10.61767/mjte.001.3.0410>**Hernández-Rivera y López-Ramírez, 2022**

Recibido: 16-11-2022

Revisado: 30-11-2022

Aceptado: 24-12-2022

Publicado: 29-12-2022

LOS PIEZOELÉCTRICOS: COSECHANDO ENERGÍA MECÁNICA

PIEZOELECTRICS: MECHANICAL ENERGY HARVESTING

D. Hernández-Rivera^{1*} y N. López-Ramírez¹

^{1,*}Tecnológico Nacional de México/TES Chicoloapan. Departamento de Ingeniería en Energías Renovables. Camino al Monte s/n, esquina con Camino a Tlalmimilolpan, Loma de Guadalupe., 56380 Ejido de Chicoloapan, Méx., Méx.

*Correspondencia: daniel.rivera@teschic.edu.mx

Resumen

Las energías renovables son fuentes de energía de gran interés debido al menor impacto ecológico que presentan comparadas con las energías fósiles. La cosecha de energía (CdE) es un proceso para obtener energía de fuentes renovables, la cual no ha recibido suficiente atención como los procesos de generación de otras fuentes de energía renovables como la solar, la eólica o la hidráulica; sin embargo, la CdE tiene una gran oportunidad de aplicación para abastecer de energía a dispositivos electrónicos de baja potencia tales como relojes, audífonos, receptores bluetooth, marcapasos, etc. La CdE permite la generación de energía eléctrica a partir de energía ambiental tal como calor, movimiento, vibraciones, y radiación. En este tipo de tecnología, el dispositivo transductor tiene una función primordial ya que permite transformar la energía ambiental en eléctrica. Existen muchos tipos de transductores, sin embargo, los materiales piezoeléctricos destacan, ya que, permiten transformar energía mecánica de diferente naturaleza (vibración, deformación, torsión, etc.) en energía eléctrica. El presente artículo tiene como objetivo informar sobre la cosecha de energía como una alternativa para obtener energías renovables no convencionales y mencionar ciertas aplicaciones donde podemos utilizar a los piezoeléctricos como elementos cosechadores de energía.

Palabras clave: Cosecha de energía; Piezoelectricidad; Energías renovables; Fluoruro de polivinilideno.



Artículo de divulgación

Hernández-Rivera y López-Ramírez, 2022

Abstract

Renewable energies are energy sources of great interest due to their low ecological impact when compared to fossil energies. Energy harvesting (EH) is a process that allow obtaining energy from renewable sources, which has not received enough attention as the generation processes of other renewable energy sources such as solar, wind, or hydro. EH, however, has a broad application opportunity to supply energy to low power electronic devices such as watches, hearing aids, Bluetooth receivers, pacemakers, etc. Energy harvesting allows the generation of electrical energy from environmental energy such as heat, movement, vibrations, and radiation. In this technology, the transducer device has a fundamental function since it transforms environmental energy into electrical energy. Although there are many types of transducers, piezoelectric materials stand out, since they can transform different kinds of mechanical energy (vibration, deformation, torsion, etc) into electrical energy. The purpose of this article is to inform about energy harvesting as an alternative to conventional renewable energies and to mention some applications where piezoelectric materials can be used as energy harvesting elements.

Keywords: Energy harvesting; Piezoelectricity, Renewable energies; Polyvinylidene fluoride.

1. Introducción

Las energías renovables son un tipo de energía proveniente de fuentes naturales que son reabastecidas más rápido de lo que son consumidas. Este hecho permite que el efecto perjudicial al medio ambiente sea reducido. Además, este tipo de energías tienen menor cantidad de emisión de gases de efecto invernadero que los combustibles fósiles. Las tecnologías para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables se han centrado en la energía eólica, solar, hídrica y geotérmica, las cuales hasta el 2020 representaban el 28% del total de la generación de energía eléctrica a nivel global[1]. A pesar de que aún hace falta mucho crecimiento para las energías renovables mencionadas, existe una necesidad creciente por la investigación de alternativas energéticas que complementen el suministro de energía eléctrica en aplicaciones donde las energías renovables convencionales tienen algún tipo de desventaja.

2. Energía disponible

Después de un juego complicado de fútbol terminas exhausto, gran parte de tu energía se perdió intentando remontar el marcador de un juego decisivo contra el grupo de amigos de la siguiente calle. Realmente, la pérdida de energía no es algo que te preocupe porque sabes que después de una deliciosa cena y varias horas de sueño habrás recuperado la energía perdida. Hagamos una pausa, ¿recuerdas aquel famoso enunciado de física que dice: “la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma?”, pues entonces, ¿dónde quedó aquella energía utilizada en el partido de fútbol? No, no desapareció como por arte de magia, de hecho, solo se transformó en energía mecánica que fue la que te permitió correr, saltar y patear aquel balón que pegó en el travesaño y que casi les da la victoria.

Siguiendo la misma idea planteada sobre la transformación de energía, ¿será posible transformar esa energía mecánica en otro tipo de



Artículo de divulgación

Hernández-Rivera y López-Ramírez, 2022

energía? y ¿será posible que se pueda aprovechar tal energía para algún dispositivo electrónico? La respuesta es: definitivamente sí. De hecho, no solo la energía mecánica podría ser aprovechada, también el calor liberado por la realización de esfuerzo físico podría ser utilizado. No solo hay energía en esa situación específica, en el planeta hay un flujo constante de diferentes tipos de energía que se están transmitiendo y transformando; sin embargo, para poder hacer uso de ellas es necesario recolectarlas, por ejemplo, los paneles solares permiten recolectar energía solar y transformarla en energía eléctrica. Los generadores eólicos, por otro lado, permiten recolectar la energía del viento y también transformarla en energía eléctrica. Se puede pensar en estos elementos como fuentes de energía a gran escala que podrían abastecer gran parte de la energía utilizada en una casa o una fábrica. Sin embargo, no solo se tiene la energía del viento, del agua y del sol para aprovecharlas, también hay otros tipos de energía fluyendo en el planeta que se podrían recolectar y transformar en energía eléctrica. Dos de estas energías son las que se mencionaron más arriba, energía mecánica (vibraciones y movimientos) y calorífica (calor disipado por el cuerpo humano, máquinas o procesos).

3. Cosecha de energía

Existe una técnica, llamada cosecha de energía (energy harvesting)[2], que permite recolectar energía del ambiente y transformarla en energía eléctrica aprovechable. Los sistemas de cosecha de energía (SCE) constan de tres partes principales: la fuente de energía de interés (como la vibración o el calor), un dispositivo transductor (el que colecta la energía) y la carga (dispositivo que consume o almacena la energía obtenida)[3,4]. Este tipo de tecnología ha crecido en los últimos años debido al aumento en la demanda de suministros de energía eléctrica para dispositivos electrónicos portátiles que tienen consumos de energía menores a 1 watt [3]. No se puede pensar en los SCE como un reemplazo o competencia de otras energías renovables como la solar o eólica donde se obtienen potencias en el rango de los kilo a lo megawatts [3], se puede

pensar más bien en este tipo de energía como una alternativa que puede ser utilizada en dispositivos electrónicos portátiles tales como celulares, relojes, cámaras, audífonos, sensores corporales, etc. De hecho, ya hay múltiples investigaciones científicas que han estado probando este tipo de energía [2,5–8].

3.1 Materiales piezoeléctricos

¿Qué pensarías si se te dice hay un tipo de materiales que permiten convertir energía mecánica en energía eléctrica? No, no se está hablando de los generadores eléctricos que permiten transformar la energía del viento o de las corrientes acuosas en electricidad, se habla más bien de materiales más pequeños que pueden transformar deformaciones mecánicas (vibraciones, presión, torsión...) en energía eléctrica, estos elementos son conocidos como materiales piezoeléctricos.

La palabra piezoeléctrico proviene del griego *piezein* que significa apretar o presionar. Existen ciertos materiales que tienen propiedades piezoeléctricas, es decir, generan una corriente eléctrica (energía como la que proporciona una batería) cuando son presionados o deformados (Figura 1). Imagina que estás presionando un material piezoeléctrico que es como una tecla de computadora, pues cada que la presiones este material generará una pequeña cantidad de energía eléctrica. Estos transductores permiten transformar energía mecánica en energía eléctrica debido a ciertas peculiaridades en su estructura química. Hay muchos materiales que presentan propiedades piezoeléctricas, uno de ellos, del cual seguramente has escuchado hablar, es el cuarzo. Además de éste, hay dos tipos importantes de materiales piezoeléctricos, los cerámicos (de apariencia similar a la de un adorno de casa) y poliméricos (de estructura parecida a los plásticos convencionales)[9]. Solo cierto tipo de materiales cerámicos o poliméricos presentan propiedades piezoeléctricas y esto tiene que ver con su estructura química[2,10]. Es necesario mencionar que los materiales cerámicos, aunque presentan una mayor eficiencia de conversión (cantidad de energía



Artículo de divulgación

Hernández-Rivera y López-Ramírez, 2022

eléctrica que nos permiten obtener), también son materiales muy rígidos y necesitan de muy altas temperaturas ($>1000^{\circ}\text{C}$) para ser fabricados. Los polímeros piezoeléctricos, en cambio, son más fáciles de fabricar, sin embargo, su eficiencia de conversión es menor que la de los cerámicos. Dentro de los polímeros piezoeléctricos principales se encuentra el fluoruro de polivinilideno (PVDF)[11,12]. El PVDF es un polímero piezoeléctrico que presenta estabilidad térmica, alta flexibilidad, buena resistencia mecánica y química, además, es biocompatible

[13,14]. Además de su utilización como material piezoeléctrico, este polímero es empleado en áreas tan diversas como la industria química, alimenticia, farmacéutica, mecánica, así como en procesos de filtrado y protección contra la corrosión. Debido a su capacidad para transformar energía mecánica en energía eléctrica y sus características físicas, los materiales piezoeléctricos como el PVDF pueden ser utilizados en los SCE [15,16].

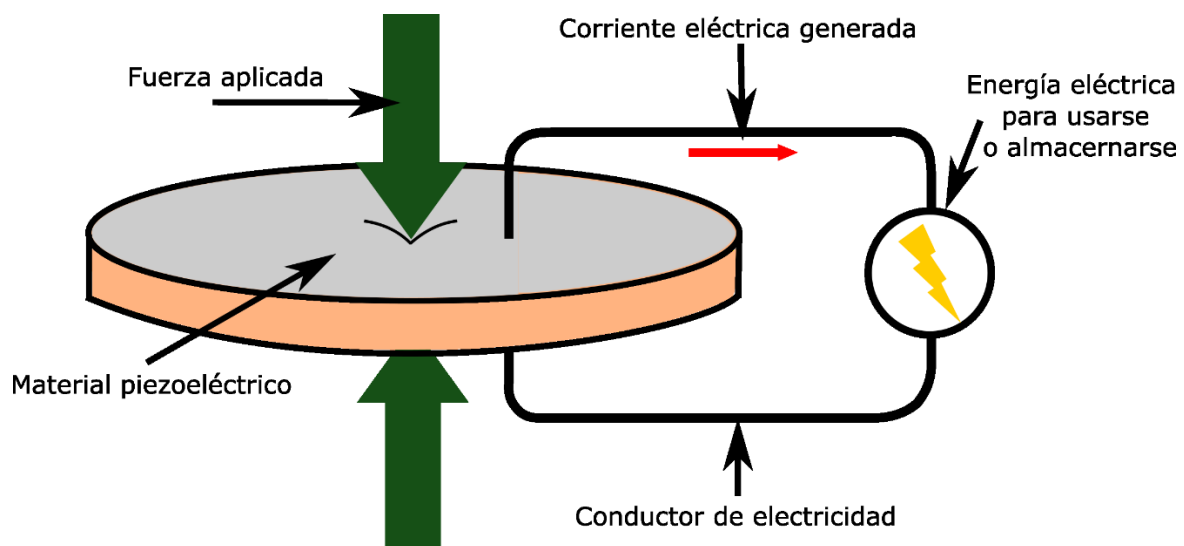


Figura 1. Efecto piezoeléctrico.

3.2. Cosechando energía mecánica

La energía mecánica que aparece por la actividad diaria del ser humano se puede cosechar para obtener energía eléctrica a través de estos materiales piezoeléctricos. Pensemos en un paso peatonal, cuando las personas caminan sobre este se genera una fuerza mecánica que actúa sobre el asfalto (como si estuviéramos presionándolo), es decir, se transfiere energía del cuerpo humano al paso peatonal, esa energía no

tiene utilidad y por tanto se libera al ambiente. ¿Qué pasaría si pusiéramos algunos dispositivos piezoeléctricos en la estructura asfáltica? Como podemos apreciar en la Figura 2, cada que una persona camine sobre la estructura, estaría presionando los dispositivos piezoeléctricos generando una cierta cantidad de energía eléctrica. Si utilizamos un número suficiente de elementos piezoeléctricos podríamos obtener la energía necesaria para encender una lámpara como la que se muestra en la Figura 2.



Artículo de divulgación

Hernández-Rivera y López-Ramírez, 2022

Los materiales piezoeléctricos tienen otra ventaja más, pueden ser fabricados de diferentes formas, tamaños y espesores. Esta característica les permitiría ser adaptados fácilmente a dispositivos portátiles por lo que podrían ser utilizados para energizar dispositivos electrónicos[4]. Veamos un ejemplo más; en el cuerpo humano hay múltiples transformaciones energéticas, sin embargo, vamos a enfocarnos en el movimiento corporal (como el ejemplo visto al inicio de este artículo). Pensemos en un dispositivo piezoeléctrico en forma de parche montado en alguna extremidad corporal como se observa en la Figura 3. En este caso el dispositivo podría funcionar como una batería que se está recargando continuamente debido a las fuerzas (movimientos) que actúan sobre él cada que el sujeto realiza una flexión en una actividad física. La energía de este dispositivo podría ser utilizada para encender algún dispositivo electrónico tal como un monitor portátil de temperatura u otra variable médica de interés. El suministro de energía de estos dispositivos piezoeléctricos podría realizarse de

dos formas: la primera opción sería permitiendo que el elemento piezoeléctrico proporcione directamente su energía al dispositivo electrónico prescindiendo de una batería recargable (las que comúnmente son fabricadas con litio)[17], la segunda opción involucra la utilización conjunta de elementos cosechadores de energía y supercapacitores[18], elementos almacenadores de energía que pueden fabricarse de elementos amigables con el ambiente. Estas configuraciones permiten ahorrar la recarga eléctrica de una batería convencional y la basura de desecho que se produce cuando la batería agota su vida útil.

Los SCE mostrados son solo unos ejemplos de cómo podemos cosechar energía mecánica del ambiente para obtener energía eléctrica limpia (amigable con el ambiente). ¡Imagina las múltiples posibilidades que tendríamos para cosechar energía!, ¿se te ocurre alguna?

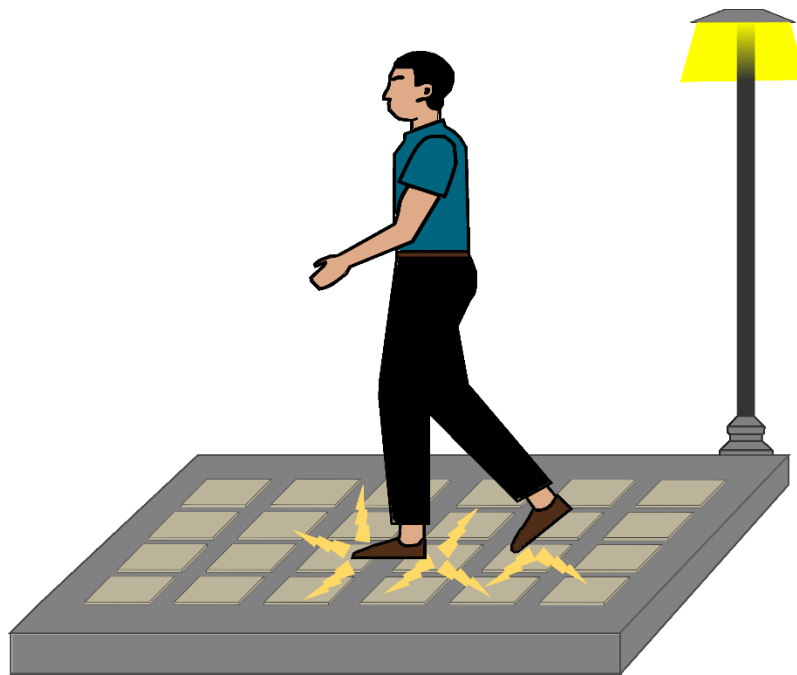


Figura 2. Generación de electricidad a través del paso peatonal.



Artículo de divulgación

Hernández-Rivera y López-Ramírez, 2022

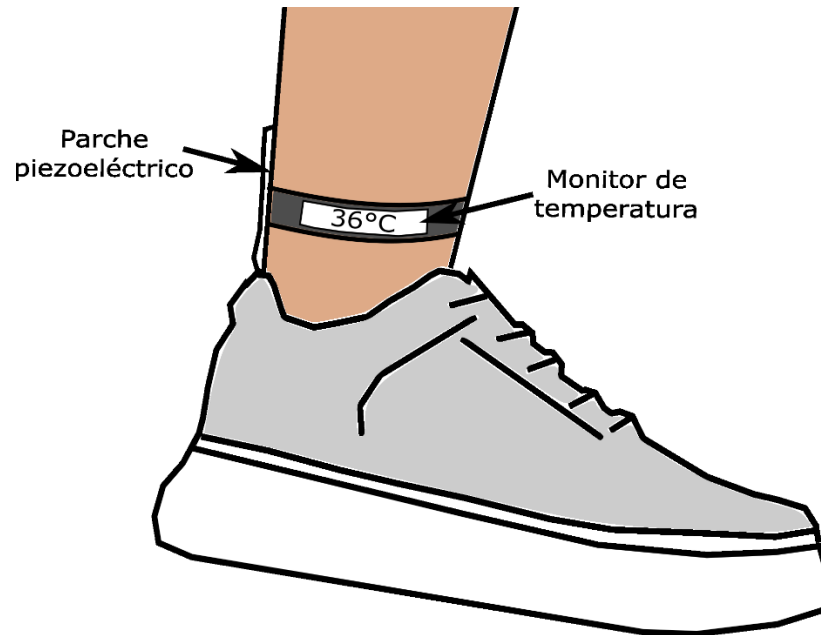


Figura 3. Monitor de temperatura energizado por un parche piezoeléctrico.

4. Conclusión

La cosecha de energía mecánica a través de materiales piezoeléctricos es una alternativa favorecedora para la obtención de energía eléctrica sustentable. La generación de energía eléctrica de fuentes naturales que no han sido explotadas representa una alternativa real de disponibilidad energética que puede ayudar a reducir la dependencia de las fuentes de energía fósiles. Adicionalmente, el uso de los cosechadores piezoeléctricos de energía en aplicaciones portátiles permitiría disminuir el uso de baterías de litio y en ese sentido podrían ser una posible solución para la deposición de estas al final de su vida útil. Finalmente es necesario decir que existe un alto potencial para la investigación de materiales transductores piezoeléctricos, así como para la implementación de nuevos sistemas cosechadores de energía basados en materiales piezoeléctricos que sean un complemento real de las otras energías renovables.

5. Referencias

- [1] Subsecretaría de Planeación y Transición Energética. Balance Nacional de Energía 2020 2021. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/707654/BALANCE_NACIONAL_ENERGIA_0403.pdf.
- [2] Sezer N, Koç M. A comprehensive review on the state-of-the-art of piezoelectric energy harvesting. *Nano Energy* 2021;80:105567. <https://doi.org/10.1016/J.NANOEN.2020.105567>.
- [3] Pradeesh EL, Udhayakumar S, Vasundhara MG, Kalavathi GK. A review on piezoelectric energy harvesting. *Microsyst Technol* 2022;28:1797–830. <https://doi.org/10.1007/S00542-022-05334-4/FIGURES/8>.
- [4] Liu Y, Shang S, Mo S, Wang P, Wang H. Eco-friendly Strategies for the Material and Fabrication of Wearable Sensors. *Int J Precis Eng Manuf Technol* 2020 84 2020;8:1323–46. <https://doi.org/10.1007/S40684-020-00285-5>.



Artículo de divulgación

Hernández-Rivera y López-Ramírez, 2022

- [5] Patil DD, Subramanian KS. Additively Manufactured and Liquid Metal Sprayed Rectenna for Energy Harvesting Application. *IEEE Trans Components, Packag Manuf Technol* 2022;1–1. <https://doi.org/10.1109/TCPMT.2022.3228321>.
- [6] Shukla AK, Mitra S, Dhakar S, Maiti A, Sharma S, Dey KK. Electrochemical Energy Harvesting Using Microbial Active Matter. *ACS Appl Bio Mater* 2022. <https://doi.org/10.1021/ACSABM.2C00785>.
- [7] Prasad CR, Rao PR, Srikanth Y, Chakradhar A. Review on energy harvesting techniques for wearable devices in wireless body area networks. *AIP Conf Proc* 2022;2418:030029. <https://doi.org/10.1063/5.0081675>.
- [8] Xu C, Song Y, Han M, Zhang H. Portable and wearable self-powered systems based on emerging energy harvesting technology. *Microsystems Nanoeng* 2021 71 2021;7:1–14. <https://doi.org/10.1038/s41378-021-00248-z>.
- [9] Clementi G, Cottone F, Di Michele A, Gammaitoni L, Mattarelli M, Perna G, et al. Review on Innovative Piezoelectric Materials for Mechanical Energy Harvesting. *Energies* 2022, Vol 15, Page 6227 2022;15:6227. <https://doi.org/10.3390/EN15176227>.
- [10] Lovinger AJ. *Ferroelectric polymers*. Science (80) 1983. <https://doi.org/10.1126/science.220.4602.1115>.
- [11] Gregorio R. Determination of the α , β , and γ crystalline phases of poly(vinylidene fluoride) films prepared at different conditions. *J Appl Polym Sci* 2006. <https://doi.org/10.1002/app.23137>.
- [12] Hernández-Rivera D, Suaste-Gómez E. Fabrication of piezoelectric PVDF/graphene membranes by electrospinning for respiratory rate and temperature sensing. *IFMBE Proc.*, 2017. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4086-3_100.
- [13] Ruan L, Yao X, Chang Y, Zhou L, Qin G, Zhang X. Properties and applications of the β phase poly(vinylidene fluoride). *Polymers* (Basel) 2018. <https://doi.org/10.3390/polym10030228>.
- [14] Hernández-Rivera D, Torres-Landa SD, Rangel-Ayala M, Agarwal V. Fluorescent films based on PVDF doped with carbon dots for evaluation of UVA protection of sunscreens and fabrication of cool white LEDs. *RSC Adv* 2021. <https://doi.org/10.1039/d1ra04746a>.
- [15] Wang F, Zhao X, Li J. PVDF energy-harvesting devices: Film preparation, electric poling, energy-harvesting efficiency. *Annu Rep - Conf Electr Insul Dielectr Phenomena, CEIDP* 2015;2015-December:80–3. <https://doi.org/10.1109/CEIDP.2015.7352153>.
- [16] Park S, Kim Y, Jung H, Park JY, Lee N, Seo Y. Energy harvesting efficiency of piezoelectric polymer film with graphene and metal electrodes. *Sci Reports* 2017 71 2017;7:1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17791-3>.
- [17] Dagdeviren C, Yang BD, Su Y, Tran PL, Joe P, Anderson E, et al. Conformal piezoelectric energy harvesting and storage from motions of the heart, lung, and diaphragm. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2014;111:1927–32. https://doi.org/10.1073/PNAS.1317233111/SUPPL_FILE/SM04.WMV.
- [18] Kim S, Chou PH. Energy harvesting: Energy harvesting with supercapacitor-based energy storage. *Smart Sensors Syst* 2015:215–41. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14711-6_10/FIGURES/12.