

# Vibraciones mecánicas: fuente de energía verde para microdispositivos

**Ernesto A. Elvira-Hernández  
Luis A. Uscanga-González  
Agustín L. Herrera-May**

La humanidad ha fabricado dispositivos electrónicos como celulares, relojes inteligentes y tabletas que requieren energía eléctrica para funcionar. Se estima que en los próximos años habrá 25 mil millones de dispositivos permanentemente funcionando (Mallick y cols., 2017). Actualmente, la mayoría de los dispositivos electrónicos usan baterías convencionales fabricadas de materiales, como mercurio, cadmio, litio o plomo, que pueden dañar al medio ambiente. Se estima que aproximadamente el 30 % del material utilizado para fabricar baterías convencionales es tóxico para la flora y fauna del planeta.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) reportó en 2012 que mil millones de personas fueron intoxicadas por contaminación ambiental ese año, siendo países de África, Asia y Sudamérica los más afectados. En el mismo lapso, más de 25 millones de muertes se registraron por razones análogas. En 2016, 322 millones de niños entre 1 y 4 años presentaron enfermedades por intoxicación como consecuencia de los contaminantes en el medio ambiente (World Health Organization, 2018).

Ante el continuo incremento del uso de dispositivos electrónicos, existe la necesidad de obtener energía

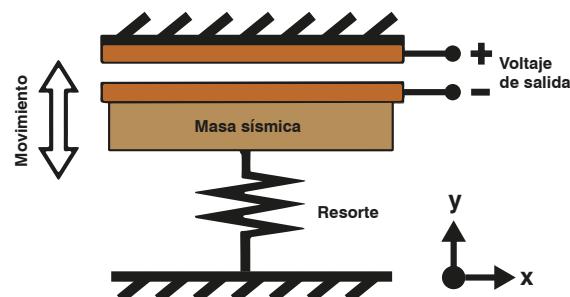
eléctrica mediante nuevas tecnologías que reduzcan el empleo de las baterías convencionales. Actualmente, la micro y la nanotecnología han permitido la fabricación de pequeños generadores de energía eléctrica aprovechando las vibraciones mecánicas del entorno.

#### DISPOSITIVOS GENERADORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

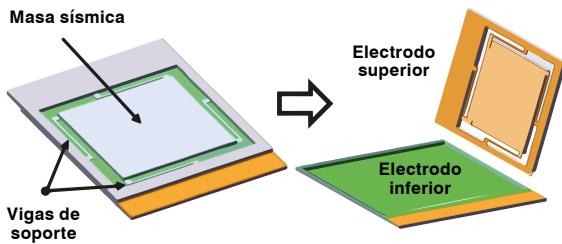
Las vibraciones mecánicas del entorno pueden ser utilizadas para generar energía eléctrica mediante dispositivos con mecanismos de transducción electrostático, piezoeléctrico y/o electromagnético. A continuación se describe el funcionamiento de los generadores basados en estos mecanismos de transducción.

#### GENERADOR ELECTROSTÁTICO

Los generadores electrostáticos constan de un capacitor variable que modifica el valor de su capacitancia debido a una alteración en la distancia entre dos electrodos. Estos electrodos pueden formarse de dos placas metálicas paralelas independientes, cargadas eléctricamente y separadas por un dieléctrico (por ejemplo, aire). Así, las distancias entre las placas metálicas del generador pueden modificarse mediante las vibraciones mecánicas del entorno, provocando una variación de capacitancia. Si esta capacitancia disminuye se obtiene un incremento de la energía almacenada en el capacitor variable (Figura 1).



**Figura 1.** Esquemático de un generador electrostático y sus componentes.

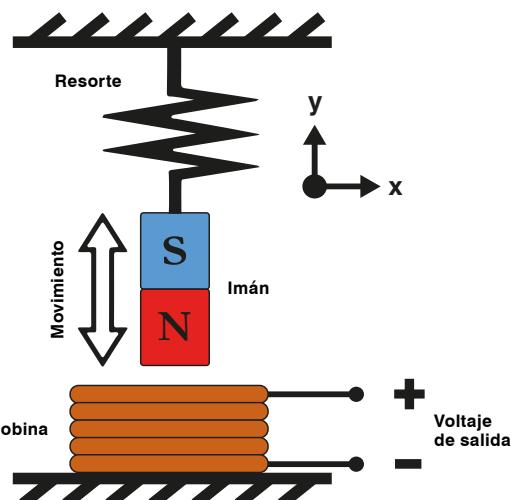


**Figura 2.** Esquemático del generador electrostático de Zhang y cols. (2018).

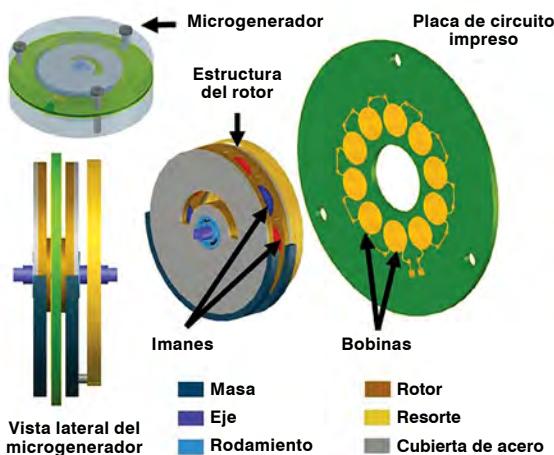
Zhang y cols. (2018) fabricaron un generador electrostático (Figura 2) que consta de una placa móvil fabricada con silicio, soportada por cuatro vigas del mismo material y colocada por encima de una placa fija. Ambas placas tienen una capa de óxido de silicio que sirve como aislante eléctrico.

#### GENERADOR ELECTROMAGNÉTICO

Un campo magnético variable aplicado a una bobina conductora puede inducirle un voltaje eléctrico. Así, los microgeneradores electromagnéticos inducen voltajes eléctricos debido a campos magnéticos variables. Para generar estos campos magnéticos se pueden utilizar películas magnéticas o imanes que cambien su posición con respecto a las bobinas. El voltaje eléctrico inducido depende del campo magnético, el número de espiras de la bobina y la velocidad del movimiento entre ambos.



**Figura 3.** Esquemático del funcionamiento de un generador electromagnético.

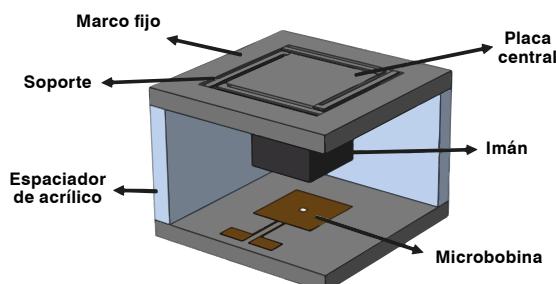


**Figura 4.** Esquemático de un generador electromagnético diseñado por Halim y cols. (2018).

Un esquemático del funcionamiento de un generador electromagnético se muestra en la Figura 3.

Halim y cols. (2018) diseñaron un generador electromagnético circular (Figura 4) formado por un conjunto de imanes que rotan alrededor de un arreglo de bobinas fijas. Con este generador se obtuvo una potencia de  $61.3 \mu\text{W}$  y fue diseñado para aprovechar el movimiento del brazo de una persona cuando camina.

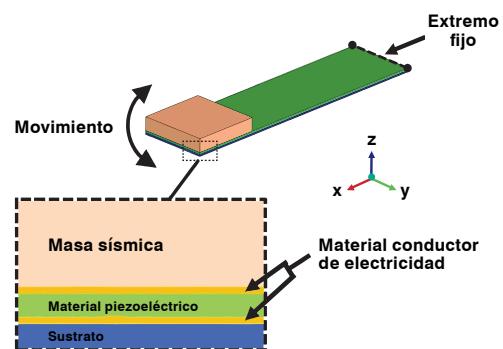
Mallick y cols. (2017) fabricaron un microgenerador compuesto por una bobina de cobre y un imán de neodimio unido a una placa de silicio, la cual está suspendida por cuatro vigas flexibles de silicio (Figura 5). Este imán mantiene una separación de 0.8 mm con respecto a la bobina mediante un separador de acrílico. Debido a vibraciones mecánicas, la placa de silicio y el imán cambian de posición, generando un campo magnético variable que induce en la bobina una potencia máxima de  $0.43 \mu\text{W}$ .



**Figura 5.** Esquemático del microgenerador electromagnético desarrollado por Mallick y cols. (2017).

## GENERADOR PIEZOLETRICO

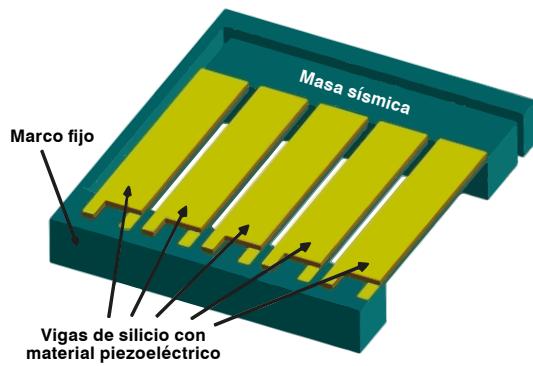
Dispositivos fabricados con materiales piezoletricos pueden generar energía eléctrica cuando están sujetos a deformaciones mecánicas. Estas deformaciones pueden ser provocadas por vibraciones mecánicas alrededor de los dispositivos piezoletricos. Generalmente, un generador piezoletrico sencillo está compuesto por un sustrato, una película piezoletrica y una masa sísmica, como muestra la Figura 6. Sobre la superficie superior del sustrato y de la película piezoletrica se depositan películas conductoras para extraer la energía eléctrica generada.



**Figura 6.** Esquemático de un generador piezoletrico basado en vibraciones mecánicas.

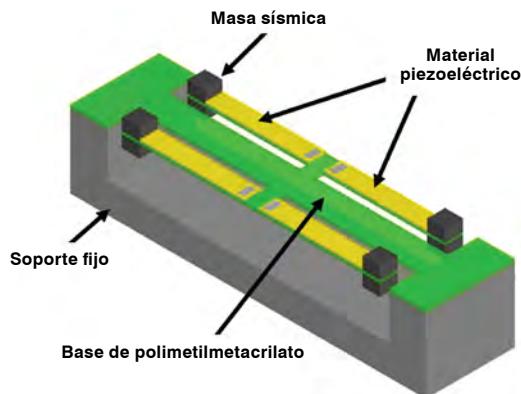
Zhao y cols. (2015) presentaron un microgenerador piezoletrico formado por cinco vigas fijas en un extremo y unidas a una masa sísmica de silicio en su otro extremo (Figura 7). Estas vigas están compuestas de películas delgadas de aluminio, nitruro de aluminio y molibdeno, que son depositadas sobre una capa de silicio. Las vigas del microgenerador pueden conectarse eléctricamente en paralelo para obtener  $3.315 \mu\text{W}$  de potencia cuando están sujetas a una aceleración de  $9.81 \text{ m/s}^2$ .

Toyabur y cols. (2017) fabricaron un dispositivo formado por cuatro vigas de polimetilmetacrilato, unidas a una viga principal del mismo material. Sobre la superficie superior de las cuatro vigas son unidas con cuatro placas de material piezoletrico y ocho masas sísmicas de aleación



**Figura 7.** Esquemático del microgenerador piezoelectrónico formado por un arreglo de cinco vigas diseñado por Zhao y cols. (2015).

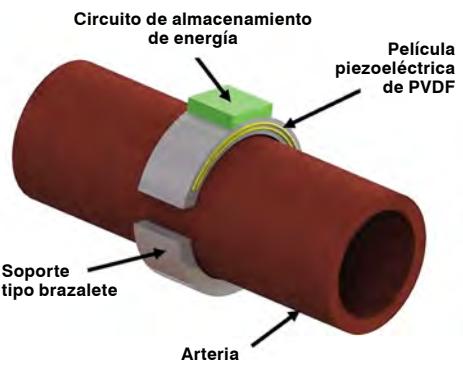
de aluminio (Figura 8). Estas cuatro vigas pueden conectarse eléctricamente en paralelo y generar  $740 \mu\text{W}$  debido a vibraciones mecánicas con aceleración de  $0.4 \text{ g}$  ( $\text{g} = 9.81 \text{ m/s}^2$ ) y  $16 \text{ Hz}$ .



**Figura 8.** Generador piezoelectrónico diseñado por Toyabur y cols. (2017).

## APLICACIONES

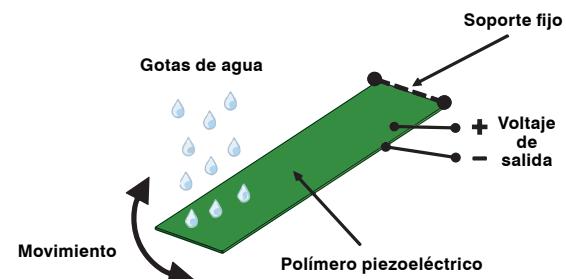
En años recientes se han incrementado las investigaciones referente a la generación de energía eléctrica aprovechando las vibraciones mecánicas y los mecanismos de transducción electrostático, piezoelectrónico y/o electromagnético. Por ejemplo, Fadhil y cols. (2013) diseñaron un microdispositivo con forma de brazalete que contiene en su interior películas de fluoruro de polivinilideno (PVDF), el cual es un polímero piezoelectrónico (Figura 9).



**Figura 9.** Diseño de un microgenerador piezoelectrónico con forma de brazalete alrededor de arteria (Fadhil y cols. 2013).

Este microdispositivo cuenta con un circuito de almacenamiento de energía eléctrica. El microdispositivo propuesto podría colocarse alrededor de una arteria, utilizando su expansión y contracción para generar energía eléctrica útil en dispositivos implantables como marcapasos.

Wong y cols. (2014) fabricaron un dispositivo compuesto por una viga de PVDF, que genera energía eléctrica debido a sus vibraciones mecánicas causadas por el impacto de gotas de agua (Figura 10). Este dispositivo puede generar un voltaje máximo de  $3.502 \text{ V}$ .



**Figura 10.** Esquemático de un generador piezoelectrónico basado en vibraciones mecánicas causadas por el impacto de gotas de agua.

La empresa PAVEGEN (2018) ha fabricado dispositivos electromagnéticos que pueden instalarse en superficies como pisos y aprovechar el movimiento causado por el tránsito peatonal para obtener energía eléctrica (Figura 11). Por ejemplo, la energía eléctrica producida por estos dispositivos podría alimentar el sistema de iluminación colocado en la calle (PAVEGEN, 2018).



**Ernesto A. Elvira-Hernández**  
**Doctorado en materiales y nanociencia**  
**Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología**  
**Universidad Veracruzana**  
**aelvirah@hotmail.com**

**Luis A. Uscanga-González**  
**Doctorado en Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**  
**Universidad Veracruzana**  
**luscanga89@gmail.com**

**Agustín L. Herrera-May**  
**Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología**  
**Universidad Veracruzana**  
**leherrera@uv.mx**

**Figura 11.** Dispositivos electromagnéticos instalados en el piso que generan energía eléctrica debido al movimiento del tránsito peatonal (PAVEGEN, 2018). Imagen tomada de: <http://www.pavegen.com/bird-street>.

## LECTURA RECOMENDADA

Fadhl N, Saber D and Patra P (2013). Energy harvesting using nano scale dual layers PVDF film for blood artery. In *9th Annual Conference on Long Island Systems, Applications and Technology, LISAT 2013* (2-7). [Doi.org/10.1109/LISAT.2013.6578250](https://doi.org/10.1109/LISAT.2013.6578250).

Halim MA, Rantz R, Zhang Q, Gu L, Yang K and Roundy S (2018). An electromagnetic rotational energy harvester using sprung eccentric rotor, driven by pseudo-walking motion. *Applied Energy* 217:66–74. [Doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.02.093](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.02.093).

Mallick D, Constantinou P, Podder P and Roy S (2017). Multi-frequency MEMS electromagnetic energy harvesting. *Sensors and Actuators A* 264:247-259. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2017.08.002>.

World Health Organization (2018). *Global Health Observatory data*. Recuperado de: [http://www.who.int/gho/mdg/environmental\\_sustainability/en/](http://www.who.int/gho/mdg/environmental_sustainability/en/).

PAVEGEN (2018). Recuperado de: <http://www.pavegen.com/birdstreet>.

Toyabur RM, Salauddin M and Park JY (2017). Design and experiment of piezoelectric multimodal energy harvester for low frequency vibration. *Ceramics International* 43:S675-S681. [Doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.05.257](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.05.257).

Wong CH, Dahari Z, Abd Manaf A and Miskam MA (2015). Harvesting raindrop energy with piezoelectrics: A review. *Journal of Electronic Materials* 44:13-21. [Doi.org/10.1007/s11664-014-3443-4](https://doi.org/10.1007/s11664-014-3443-4).

Zhang Y, Wang T, Luo A, Hu Y, Li X and Wang F (2018). Micro electrostatic energy harvester with both broad bandwidth and high normalized power density. *Applied Energy* 212:362-371. [Doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.053](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.053).

Zhao X, Shang Z, Luo G and Deng L (2015). A vibration energy harvester using AlN piezoelectric cantilever array. *Microelectronic Engineering* 142:47-51. [Doi.org/10.1016/j.mee.2015.07.006](https://doi.org/10.1016/j.mee.2015.07.006).



© Rodrigo Orozco. *Isla de las ausencias*, óleo/madera, 60 x 40 cm, 2014.



© **Rodrigo Orozco**. *Gregarismo*, técnica mixta/madera, 110 x 85 cm, 2017.