

# Medición de desempeño de un dispositivo piezoeléctrico para cosechado de energía eléctrica a partir de vibraciones sísmicas en Bucaramanga

## Investigación en Curso

Daisy Tatiana Ricaurte Pinto  
Ingeniería Mecatrónica  
Facultad de Ingenierías  
[dricaurte75@unab.edu.co](mailto:dricaurte75@unab.edu.co)

### Universidad Autónoma de Bucaramanga

#### RESUMEN

Este proyecto presenta un análisis sobre el desempeño de un dispositivo que genera y almacena energía eléctrica alternativa y ecológica a partir de energía mecánica. Este dispositivo piezoeléctrico permite aprovechar la ubicación de Santander, en el segundo nido sísmico más activo del mundo, para aprovechar esas vibraciones. El dispositivo consiste en una pequeña viga en voladizo con recubrimiento piezoeléctrico que al ser excitada en su base exhibe un movimiento de flexión alternante que activa al material piezoeléctrico produciendo un flujo de carga que puede ser cosechado y almacenado para su aprovechamiento.

#### ABSTRACT

This project presents an analysis on the performance of a device that generates and stores, renewable and ecological, electric energy from mechanical energy. This piezoelectric device can take advantage of the location of Santander, in the second seismically most active place in the world, to harvest energy from those vibrations. The device consists of a small cantilever beam with a piezoelectric coating. When the base of the device is excited, the beam exhibits alternating bending motion that activates the piezoelectric material, producing a charge flux that can be harvested and stored to be used.

#### Área de Conocimiento

Modelado y simulación, Estructuras Inteligentes

#### Palabras Clave

Piezoelectricidad, cosechador, vibraciones, viga en voladizo, energías alternativas, movimiento sísmico.

#### INTRODUCCIÓN

Este proyecto busca evaluar el funcionamiento de un dispositivo piezoeléctrico en forma de viga en voladizo que pretende aprovechar la frecuente actividad sísmica de la ciudad de Bucaramanga. Basado en el tema de energías alternativas, se eligió la piezoelectricidad como el fenómeno físico que mejor se adapta al parámetro ecológico, aprovechando la energía mecánica y transformándola en energía eléctrica.

Este artículo está dividido en secciones así: La sección 2 presenta los objetivos del proyecto, la sección 3 presenta la metodología de investigación, la sección 4 presenta métodos o técnicas en desarrollo, la sección 5 presenta el cronograma por desarrollar, la sección 6 presenta el referente teórico y finalmente, la sección 7 presenta los resultados parciales.

#### OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto es implementar la piezoelectricidad en un dispositivo de vibraciones sísmicas para generar energía eléctrica. Específicamente, se diseña un circuito cosechador para aumentar la corriente de los piezoeléctricos, se optimizan las dimensiones de la viga en voladizo, se evalúan las constantes propias de la lámina piezoeléctrica, se realizan mediciones con el prototipo y se analizan las diferentes variables.

#### METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología seguida en la investigación consiste en revisar los contenidos teóricos y con base en estos montar y evaluar el dispositivo. Se han escogido materiales tales como: el material piezoeléctrico utilizado es un producto llamado QuickPack QPK-1001 "Student" Piezo Energy Harvesters: un paquete estudiantil de 10 piezoeléctricos de prueba. La empresa que fabrica este elemento es estadounidense y tiene por nombre Midé Engineering Smart Technology Products. Este es un piezoeléctrico especializado para nuestra aplicación ya que además de las propiedades ya mencionadas, tiene un recubrimiento para protección contra el entorno. El sensor consiste en una viga en voladizo que tiene dos láminas piezoeléctricas, una encima y la otra debajo y un pequeño peso en el extremo para exagerar el movimiento del dispositivo y así ejercer mayor presión en los elementos piezoeléctricos. Este diseño de dispositivo piezoeléctrico cuenta con características tales como [1]:

- grandes deflexiones
- fuerzas de bloqueo útiles
- superficies protegidas de los peligros ambientales
- conductores eléctricos.

El circuito de cosechamiento elegido es el EHE004 fabricado por Mouser Electronics que, como lo muestra la figura 1 es un circuito rectificador, es decir, transforma la corriente alterna en corriente continua, y tiene un voltaje de salida adaptable.

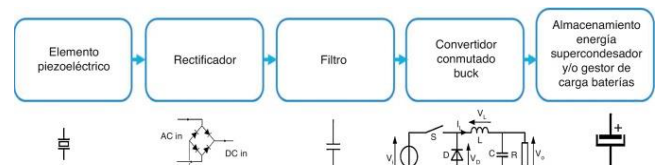


Figura 1. Esquema del circuito de cosechamiento [2]

## MÉTODOS O TÉCNICAS EN DESARROLLO

La metodología que se está siguiendo ahora consiste en llevar a la práctica los modelos matemáticos planteados hasta este momento. Para eso se monta el prototipo y se llevan a cabo mediciones alterando cada una de las variables y de esta forma optimizar el rendimiento del dispositivo.

### CRONOGRAMA POR DESARROLLAR

Diseñar un encapsulamiento para el circuito: Para esta fase se requieren 2 semanas.

Empotramiento de la viga en voladizo: Para esta fase se requieren otras 2 semanas más.

Acabados del dispositivo: Para esto se requieren 3 semanas.

Medición de desempeño con el prototipo terminado: Se requerirán 2 semanas para hacer las respectivas variantes.

Análisis de resultados: Se requiere de una semana para analizar las mediciones obtenidas.

### REFERENTES TEÓRICOS

El principio de piezoelectricidad fue observado por primera vez por los hermanos Jacques y Pierre Curie en el 1880 cuando estudiaban la compresión del cuarzo encontrando que este generaba voltaje y más tarde, en 1881, demostraron el efecto contrario.

Entre 1882 y 1917 la piezoelectricidad fue un tema amainado, que desmotivó a muchos científicos dado que las ecuaciones matemáticas fueron todo un desafío. Aun así, en 1917 se datan las primeras aplicaciones de dispositivos piezoelectricos. Durante la primera guerra mundial, Paul Langevin y sus colaboradores diseñaron un detector submarino ultrasónico el cual estaba compuesto por cristales de cuarzo y placas de acero. Este dispositivo fue perfeccionado después de la guerra. Entre 1920 y 1940 se dio un renacimiento de la piezoelectricidad y se crearon muchos dispositivos similares al diseñado por Langevin.

Desde 1940 hasta 1965, se abrió paso la segunda generación de las aplicaciones de la piezoelectricidad. Esto porque la segunda guerra mundial avivo las investigaciones y adaptó los materiales piezoelectricos según su uso específico.

Luego de esto y hasta 1980, Japón tomo el liderazgo en la fabricación y desarrollo de piezoelectricos, y en la comercialización de los mismos.

A partir de 1980 y hasta el presente, la fabricación de piezoelectricos ha traspasado fronteras: Estados Unidos, Rusia, China, India. Las patentes de materiales piezoelectricos van en aumento y las aplicaciones son cada vez más versátiles y confiables, por ejemplo en medicina. [4]

Se han establecido de manera general, para cualquier pieza piezoelectrica, algunas ecuaciones como:

El uso de resistencias como carga, se calcula utilizando la ecuación para la energía disipada de un circuito de resistencia:

$$P_e = \frac{V^2}{R} = \frac{V \left(\frac{T}{P}\right)^2}{R}$$

Donde:

$P_e$  = salida de potencia [W]

V = voltaje del sistema [V]

R = resistencia [ $\Omega$ ]

T = tiempo en que el ciclo de funcionamiento esta encendido [seg.]

P = periodo del ciclo de funcionamiento [sec.]

Intensidad de campo eléctrico.

$$D = \alpha P$$

Donde:

$\alpha$  = constante de permitividad

P = presión

Deformación elástica.

$$S = sT$$

Donde:

s = deformación

T = tensión.

[3]

Este piezoelectrico que corresponde al PZT-5H tiene un módulo de Young de  $6 \times 10^{10}$  N/m.

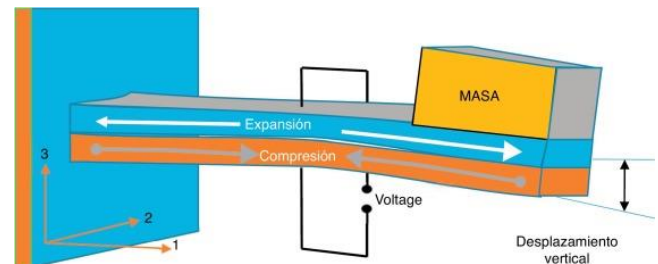


Figura2. Cosechador piezoelectrico de viga en voladizo [2]

La figura 2 muestra una versión del dispositivo terminado. Puede definirse una viga como un sólido homogéneo e isotrópico engendrado por una sección transversal, que generalmente admite un plano de simetría y cuyo centro de gravedad describe una curva o línea, denominada directriz, siendo el plano que contiene a la sección transversal normal a dicha directriz [5].

Cuando una viga se flexiona debido a la presencia de fuerzas exteriores, existen algunas partes de la viga están sometidas a una compresión, y otras zonas estén sometidas a tracción por el momento flector. Pero hay una línea en la viga en la que las fibras no están sometidas a tensión. Esta línea se denomina línea neutra o de fibra neutra [6]. La figura 3 muestra el concepto anterior.



Figura 3. Flexión de una viga [6]

Se puede utilizar la relación de Euler-Bernoulli entre el momento flector M de la fuerza aplicada y el radio de curvatura  $\rho$  de la barra deformada [8]:

$$M = \frac{EI}{\rho}$$

Donde E es el módulo de Young del material, I es el momento de inercia de la sección transversal de la barra y  $\rho$  es el radio de curvatura. El producto EI, que depende del tipo de material empleado y de las características geométricas de la sección de la barra, recibe el nombre de "módulo de rigidez a la flexión" de la barra o simplemente "rigidez" [9].

Según la figura 4, el radio de curvatura  $\rho$  de una curva de ecuación  $y = y(x)$  puede calcularse mediante la ecuación [6]:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}$$

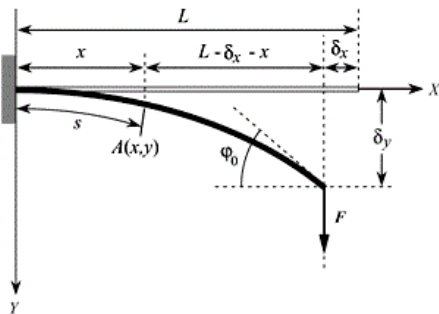


Figura 4. Análisis de la flexión de una viga [6]

En la figura 5 se representan los valores de respuesta de los sistemas piezoeléctricos sometidos a vibraciones continuas (a) y de impacto (b y c). En todos ellos, en trazo discontinuo se representa la respuesta directa del elemento piezoeléctrico, y en trazo continuo, la misma señal después de pasar por el circuito rectificador. Esto por lo que se mencionó anteriormente de la transformación de corriente alterna a corriente continua.

En la figura 6 se muestra otro esquema del circuito rectificador EHE004 y una gráfica voltaje vs tiempo. El circuito rectificador usa un puente de diodos para cumplir su función. [2]

Este circuito presenta una ventaja ya que en su salida de voltaje adaptable se puede conectar otro condensador o batería de más capacidad que los condensadores que trae el propio circuito. También se podría conectar otro circuito diferente. [7]

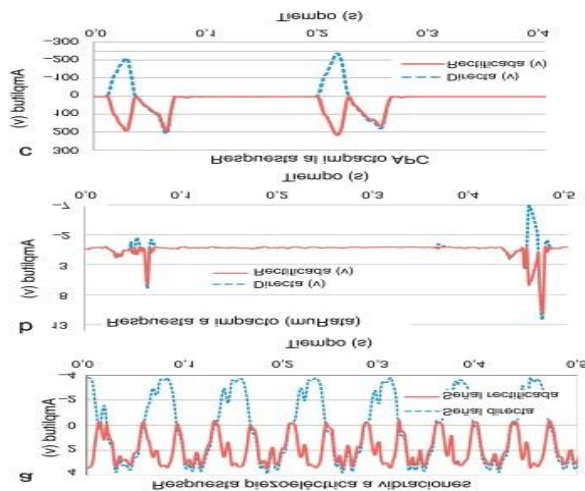


Figura 4. Señales típicas en el circuito de cosechamiento [2]

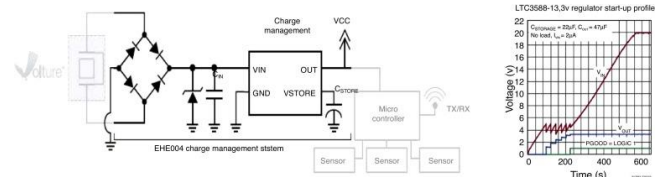


Figura 6. Circuito de cosechamiento [7]

### RESULTADOS PARCIALES

Los resultados esperados para la investigación en curso son:

Un documento con el impacto ambiental generado por el uso de la energía de diferentes tipos.

Un modelo de circuito cosechador para almacenar la energía producida por los piezoeléctricos.

Una réplica del sensor piezoeléctrico de movimientos tectónicos.

Una evaluación del funcionamiento de los materiales piezoeléctricos y del prototipo.

De estos resultados, se ha cumplido con el primero y el segundo. Además se está preparando un diseño en software CAD del prototipo para llevar a cabo evaluaciones previas antes de montar la viga en voladizo.

### IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Nombre del Semillero	Semillero de Investigación en Modelado y Simulación
Tutor del Proyecto	Sebastian Roa Prada
Grupo de Investigación	Control y Mecatrónica
Línea de Investigación	Modelado y Simulación
Fecha de Presentación	Marzo 4 de 2016

### REFERENCIAS

[1] QPK 1001 DATASHEET. <http://www.mide.com/pdfs/quickpack-qpk-1001-datasheet.pdf>

[2] Martínez, F. J. J., de Frutos, J., Alonso, D., & Vázquez, M. (2015). Optimización de piezoeléctricos comerciales para su uso en sistemas de Energy Harvesting. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 54(6), 247-253.

[3] Melero, F. G. Principios De Piezoelectricidad.

[4] <http://www.piezo.com/tech4history.html>.

[5] F. Belmar, A. Garmendía y J. Llinares, Curso de Física Aplicada: Estatica (Universidad Politécnica de Valencia, 1987).

[6] Beléndez, T., Neipp, C., & Beléndez, A. (2002). Flexión de una barra delgada empotrada en un extremo: aproximación para pequeñas pendientes. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24(4), 399-407.

[7] [http://www.mouser.com/ds/2/606/vulture\\_EHE004\\_Datasheet-220271.pdf](http://www.mouser.com/ds/2/606/vulture_EHE004_Datasheet-220271.pdf)

[8] R. Feynman, R. B. Leighton y M. Sands, *Física, Vol. II: Electromagnetismo y Materia* (Addison-Wesley Iberoamericana, México, 1987).

[9] L. Ortiz-Berrocal, Resistencia de Materiales (McGraw-Hill, Madrid, 1997).