

**GENERACIÓN DE ENERGÍA CON
SISTEMA PIEZOELÉCTRICO PEATONAL
PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL SAN
LUIS GONZAGA, ICA-PERÚ¹⁷⁹**

**POWER GENERATION WITH A
PEDESTRIAN PIEZOELECTRIC SYSTEM
FOR THE SAN LUIS GONZAGA
NATIONAL UNIVERSITY, ICA-PERU**

José Carlos Rodríguez Chacón¹⁸⁰

Patricia Paulina Huarancca Contreras¹⁸¹

Henry Genaro Guevara Garibay¹⁸²

Eduardo Antonio Navarrete Senda¹⁸³

Paulina Eliades Yarasca Carlos¹⁸⁴

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES¹⁸⁵

¹⁷⁹ Derivado del proyecto de investigación: Generación de energía eléctrica sostenible con sistema piezoeléctrico en el ingreso peatonal de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Ica-Perú.

¹⁸⁰ Ing. Mecánico Electricista, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Doctor en Gestión Ambiental, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga, jose.rodriguez@unica.edu.pe.

¹⁸¹ Ing. de Sistemas, Universidad Técnica de Georgia, Maestro en Ingeniería de sistemas, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga, patricia.huarancca@unica.edu.pe.

¹⁸² Ing. Mecánico Electricista, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Maestro en Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Mención: Gestión de la Energía y Medio Ambiente, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga, henry.guevara@unica.edu.pe.

¹⁸³ Ing. Mecánico Electricista, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Doctor en Gestión Ambiental, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga, enavarrete@unica.edu.pe.

¹⁸⁴ Lic. en Educación Ciencias Biológicas, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Doctorado en Educación, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga, eliaades.yarasca@unica.edu.pe

¹⁸⁵ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES

17. GENERACIÓN DE ENERGÍA CON SISTEMA PIEZOELÉCTRICO PEATONAL PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA. ICA-PERÚ¹⁸⁶

José Carlos Rodríguez Chacón¹⁸⁷, Patricia Paulina Huarancca Contreras¹⁸⁸, Henry Genaro Guevara Garibay¹⁸⁹, Eduardo Antonio Navarrete Senda¹⁹⁰, Paulina Eliades Yarasca Carlos¹⁹¹

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue generar energía eléctrica sostenible con sistema piezoeléctrico en la vía peatonal de ingreso al campus de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga. El estudio fue aplicado, descriptivo y se utilizó un piezoeléctrico Multicomp ABT-144-RC con sensor pasivo generando 5V, con valor de inducción de fuerza de 637 N y una corriente en cc=180 mA. Se configuró un sistema conformado por 4 piezoeléctricos conectados en serie y 2 en paralelo. Se instaló una red de equipos obteniéndose un diagrama eléctrico compuesto por 2 conexiones: primera; conexión de los sensores piezoeléctricos al controlador de carga; segunda conexión salida del controlador de carga a batería de 12 voltios almacenando la energía producida por los sensores piezoeléctricos siendo este producto 20 V y 200 mA. La configuración del sistema piezoeléctrico permitió una carga total al 100% de una batería de 12 V; 2,6 Ah en un periodo de 13 horas, generando una potencia de 60 Vatios-hora, capacidad para mantener encendidas 5 luminarias LED de bajo consumo (6W) por una hora con una carga completa. Se obtuvo una energía total generada por el sistema de 300 000 voltios y una potencia de 73,85 kilovatios, considerando un periodo de tiempo de 16 horas por día de tránsito peatonal, concluyendo que obtenemos un ahorro diario de 49,21 soles por día, 1 230 mensual y 14 763 anual.

¹⁸⁶ Derivado del proyecto de investigación: Generación de energía eléctrica sostenible con sistema piezoeléctrico en el ingreso peatonal de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Ica-Perú.

¹⁸⁷ Ing. Mecánico Electricista, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Doctor en Gestión Ambiental, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga, jose.rodriguez@unica.edu.pe

¹⁸⁸ Ing. de Sistemas, Universidad Técnica de Georgia, Maestro en Ingeniería de sistemas, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga, patricia.huarancca@unica.edu.pe.

¹⁸⁹ Ing. Mecánico Electricista, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Maestro en Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Mención: Gestión de la Energía y Medio Ambiente, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga, henry.guevara@unica.edu.pe.

¹⁹⁰ Ing. Mecánico Electricista, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Doctor en Gestión Ambiental, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga, enavarrete@unica.edu.pe.

¹⁹¹ Lic. en Educación Ciencias Biológicas, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Doctorado en Educación, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga, eliaades.yarasca@unica.edu.pe

ABSTRACT

The objective of the research was to generate sustainable electrical energy with a piezoelectric system in the pedestrian pathway to the campus of the San Luis Gonzaga National University. The study was applied, descriptive and a Multicomp ABT-144-RC piezoelectric was used with a passive sensor generating 5V, with a force induction value of 637 N and a current in cc = 180 mA. A system was configured consisting of 4 piezoelectrics connected in series and 2 in parallel. A network of equipment was installed, obtaining an electrical diagram made up of 2 connections: first; connection of piezoelectric sensors to the charge controller; second connection output of the charge controller to a 12 volt battery, storing the energy produced by the piezoelectric sensors, this product being 20 V and 200 mA. The piezoelectric system configuration allowed a 100% full charge of a 12 V battery; 2.6 Ah in a period of 13 hours, generating a power of 60 Watt-hours, capacity to keep 5 low consumption LED luminaires (6W) on for one hour with a full charge. A total energy generated by the system of 300,000 volts and a power of 73.85 kilowatts was obtained, considering a period of time of 16 hours per day of pedestrian traffic, concluding that we obtain a daily saving of 49.21 soles per day, 1,230 monthly and 14,763 annually.

PALABRA CLAVE: Piezoeléctrico, Generación de energía, Ahorro de energía, Sostenibilidad ambiental.

Keywords: Piezoelectric, Power generation, Energy saving, Environmental sustainability.

INTRODUCCIÓN

Todos los países del mundo tienen gran dependencia por la energía eléctrica, esta energía es un bien relevante porque está siempre presente en casi todos los procesos productivos y de consumo en la economía, así mismo la transformación y generación de energía eléctrica genera impactos negativos sobre el medio ambiente natural, afectando a los seres vivos del planeta (Borda, 2017).

Es también conocido que la energía presenta serias consecuencias sobre las economías de producción en la industria por lo que depende muchísimo las posibilidades de consumo, satisfacción del cliente y fundamentalmente el crecimiento productivo en el mediano y largo plazo. Considerando además que los costos energéticos provenientes de combustibles fósiles constituyen un relevante impacto en la actividad de producción industrial de un país (Marroquín y Ríos, 2017).

El estudio permitió entender el concepto de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) que a medida que aumenta el desarrollo económico existirá un punto en el que la presión ambiental descenderá, puesto que es un indicador de presión ambiental que aproxima la cantidad de uso de recursos naturales que son transformados en una economía (Minaya, 2018). El análisis realizado radica fundamentalmente en que existe una relación directa entre la generación de energía eléctrica y la contaminación ambiental conformando gases de efecto invernadero, CO₂, CH₄ y N₂O, que resultan de todo proceso de combustión de combustibles fósiles, pero se debe considerar la posibilidad de reducir las energías fósiles con investigación, desarrollo y demostración (I + D + i), a través de políticas ambientales, de procedimientos de mejora de la eficiencia energética y fundamentalmente la utilización de las fuentes renovables de energía natural (Álvarez, Balsalobre y Shahbaz, 2017).

La gran demanda energética en el presente, ha ocasionado que muchos individuos se enfoquen en el estudio, renovación y la implementación de tecnologías modernas para la generación, almacenamiento y utilización de energías renovables (Castellanos, 2013). Las energías alternativas contemporáneamente son una necesidad y realidad, debido a que son concebidas como recursos de generación limpia comparada con las producidas convencionalmente con combustibles fósiles; logrando una significativa reducción de su dependencia, buscando un impacto positivo en el ya avanzado cambio climático, estructura

económica, dependencia energética y eficiencia energética (Baranes, Jacqmin y Poudou 2017; Ilyas, 2018).

“La recolección de energía es el proceso de aprovechamiento de la energía del medio ambiente (geotérmica, eólica, solar, mares, vibraciones, incluidas gradientes) para convertirla en energía eléctrica utilizable”, siendo importante para este estudio la fuente de energía función de la vibración mecánica (Kang, et.al. (2016). Esta energía tiene la capacidad de abundancia suficiente para su utilización a través de sistemas microelectrónicos como son los piezoeléctricos que convierten la presión mecánica en energía eléctrica, que puede almacenarse para ser fuente de pequeños hasta grandes dispositivos eléctricos y electrónicos (Shu y Lien, 2006; Álvarez, Balsalobre y Shahbaz, 2017)

La energía en sus diversas formas se ha convertido hoy en un elemento fundamental para el desempeño cultural, social, económico y político de los países del mundo; así mismo la tecnología emergente del desarrollo económico depende directamente de la energía térmica y de la eléctrica no renovables para satisfacer actualmente altas exigencias de diseño industrial (Dávila, Gámez, Melo y Pimienta 2020). Internacionalmente se desarrollan diferentes proyectos que evalúan la producción de energías sostenibles, implementando sistemas piezoeléctricos en las vías peatonales y vehiculares para generar energía eléctrica libre del impacto negativo al medio ambiente, mejorando la calidad de vida de los seres vivos. (Marroquín y Ríos 2017; Elhalwagy, Ghoneem y Elhadidi 2017)

La tecnología piezoeléctrica no es nueva, en 1880 Jacques y Pierre Curie descubren un comportamiento muy singular de ciertos minerales cristalinos como el cuarzo, observaron que, al ser sometidos a esfuerzos mecánicos, estos generaban cargas eléctricas por lo que a este fenómeno físico se le denominó efecto piezoeléctrico. Al ejercer fuerzas de tracción y compresión generaban voltajes polarizados opuestamente y proporcionales al valor de las fuerzas. Después de algunos años, se verificó el efecto inverso; es decir, cuando uno de esos cristales “generadores de voltaje” era sometido a campos eléctricos, se deformaba acorde a la polaridad del campo y proporcionalmente al mismo. (Angulo, Escobar y Montoya 2017).

La historia menciona que para el año 1880 los hermanos Curie en sus investigaciones descubrieron el efecto piezoeléctrico directo, posteriormente un investigador francés llamado Gabriel Lippman tuvo la capacidad de derivar matemáticamente el efecto piezoeléctrico

inverso para el año siguiente en 1881; este otro trabajo realizado por Lippman lo respaldaron los hermanos Curie dejando un legado del conocimiento científico que hoy son apropiadamente aprovechados en una serie de dispositivos que contribuyen directamente en la calidad de vida de las personas. Para mayor ilustración se puede indicar que los materiales piezoeléctricos producen cargas eléctricas cuando son sometidos a esfuerzos mecánicos, donde cada molécula se encuentra polarizada, estando cargada por un extremo con carga negativa y por el otro con positiva. Por el contrario, si aplicamos voltaje a través del material piezoeléctrico, con la misma polaridad, se obtiene una deformación en el material (expansión). Sin embargo, si invertimos la polaridad del voltaje, el material se comprimirá. Para concluir se determina que la cantidad de energía que genera un piezoeléctrico es la misma energía que puede almacenarse en un condensador o en una batería. (Patel 2011; Fernández 2017; Ilyas 2018).

La energía piezoeléctrica ha tenido un sostenimiento relativo en el Perú, puesta que se ha realizado estudios que de ser viables contribuirán directamente al ahorro de energía de país. Un ejemplo importante es que egresados de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas UPC realizaron en el 2017 un estudio de viabilidad para generar energía eléctrica en los pasillos peatonales de las estaciones del tren eléctrico, determinando una afluencia diaria de 323,000 en sus 26 estaciones; con lo que se ha estimado un ahorro energético que podrá generar un ahorro sobre los S/ 130,000.00 soles anuales utilizando tecnología Pavegen (Concha y Zamalloa 2017).

También se reconoce la labor del hermano país Colombia donde egresados de la Universidad Católica de Bogotá, realizaron un estudio e implementar un sistema piezoeléctrico en una vía de 1 km de carretera con el cual se estimó se pueden producir 200 KWh / h, considerando que los piezoeléctricos estarían ubicados a lo largo de la vía vehicular a doble fila sobre la que estarían transitando 600 vehículos del tipo pesados por hora, a una velocidad promedio de 72 km/hora; utilizando la tecnología de Innowattech (Cardozo y Tamayo 2017)

El consumo de energía eléctrica como insumo para el funcionamiento de innumerables dispositivos eléctricos y electrónicos que utiliza la Universidad Nacional San Luis Gonzaga para la prestación de servicios académicos es obviamente oneroso por lo que

la alternativa de instalar sistemas de generación de energía alternativa renovable es trascendentalmente económica. (Agatón 2014) señala que el proceso conocido actualmente como cosecha de energía (Energy Harvesting) es aquel que permitirá la captura de pequeñas cantidades de energía generada por un sistema piezoeléctrico instalado en la vía peatonal de ingreso al campus universitario de esta casa de estudios, la que se almacenará en baterías para posteriormente ser derivada a través de redes eléctricas a los diferentes dispositivos que requieran energía y poder satisfacer las necesidades académicas específicas; además de reducir el potencial impacto por la generación de energía eléctrica convencional, así mismo permitirá reducir el alto consumo de energía e incentivar el ahorro económico con tecnología renovable del tipo piezoeléctrica que tiene sostenibilidad ambiental.

El estudio se desarrolló en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica-Perú del año 2020, considerando una propuesta de diseño en la infraestructura vial, capaz de producir energía eléctrica utilizando piezoeléctricos como fuente de generación de energía renovable, lo que permitió la configuración de un sistema modular piezoeléctrico autoconstruido para la generación de energía eléctrica sostenible en la vía de acceso peatonal (puerta de ingreso) del campus universitario (figura 1).

Figura 1. Puerta de ingreso peatonal

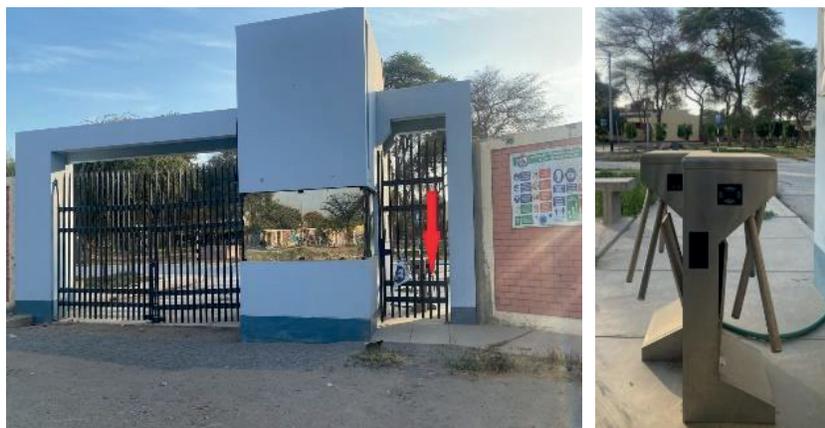


Figura 2. Puerta de ingreso vehicular



La elaboración de este trabajo permitió realizar la conformación de una baldosa piezoeléctrica piloto, que será el lugar físico donde el estudiante que transita por la puerta de entrada peatonal de la ciudad universitaria, ejercerá presión sobre el dispositivo generando corriente eléctrica que será almacenada en una batería de 12 voltios para su posterior derivación y utilización.

METODOLOGÍA

La investigación científica, tiene como principio el desarrollo tecnológico de los países además de la innovación, constituyen los pilares fundamentales del conocimiento científico y tecnológico. Esta investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo de diseño transversal (Hernández, Fernández y Baptista 2014). La generación de energía sostenible por medio del sistema piezoeléctrico en la ubicación seleccionada estará determinada por el flujo peatonal constituida por todos los alumnos, profesores, administrativos y visitantes que ingresan al campus universitario de la ciudad universitaria en la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica; quedando establecida una muestra de 15 000 personas por día, desde las 6:00 hasta las 22:00 horas.

Diseño de la investigación:

Etapas 1: Selección de material, equipos, diseño y construcción del sistema piezoeléctrico piloto para la infraestructura vial que produce y almacena la energía generada.

Tabla 1. Equipos y materiales para la construcción del Piezoeléctrico

Ítem	Elementos del prototipo	Tipo	Característica
1	Sensor piezoeléctrico	Multicomp ABT-144-RC	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor pasivo - Genera 5V, valor de inducción de fuerza de 637 N - Corriente en cc = 180 mA
2	Osciloscopio digital	DSOX2012A CAL	<ul style="list-style-type: none"> - Lectura de señales continuas y alternas. - Sonda de prueba para conexionado - Señal digital. - Alimentación: 220V
3	Controlador de carga	EPSOLAR 6A	<ul style="list-style-type: none"> - Permite corrientes de hasta 6 A - Tiene circuitos rectificadores de señal - Conexión directa a fuente de almacenamiento
4	Batería	12V 2.6 A ANJING	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo de carga de batería a 200 mA es de 13 horas. - Protección contra sobrecarga
5	Cable de conexión	WIRE calibre 18	<ul style="list-style-type: none"> - Permite prototipos de hasta 20V de ingreso - Material aleación de aluminio y cobre - Material recubierto para sobrecargas
6	Multímetro digital	10A - 1000VAC/DC fluke 179	<ul style="list-style-type: none"> - Medición de voltaje y corriente - Pantalla LCD para mejor visualización de los valores. - Batería de 9V incorporado
7	Cautín	REDLINE Tipo Lápiz	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura de trabajo de 150°C - Alimentación de 220 VAC
8	Estaño	-	<ul style="list-style-type: none"> - Soldadura limpia
9	Madera	-	<ul style="list-style-type: none"> - Medida de 20 x 20 cm - Tipo melanina
10	Tornillo	MFT-JS 6x15 A4	<ul style="list-style-type: none"> - Tornillo de ajuste de suspensión

Etapa 2: Pruebas en la configuración del sistema piezoeléctrico piloto, bajo la aplicación de una fuerza ejercida sobre el material obteniendo, corriente, voltaje y potencia, que será destinada a la satisfacción de necesidades específicas.

Tabla 2. Cálculo de fuerza promedio

Estudiante	Peso (kg)	Fuerza de gravedad (m/s ²)	F = m x g (F = kg. $\frac{m}{s^2}$)	Fuerza en (N)
1	66	9,80665	66 x 9,80665	647,24
2	64	9,80665	64 x 9,80665	627,63
3	63	9,80665	63 x 9,80665	617,82
4	67	9,80665	67 x 9,80665	657,05
Promedio	65			637,44

Configuración del sistema piezoeléctrico piloto

En la implementación del sistema se utilizó un piezoeléctrico Multicomp ABT-144-RC con sensor pasivo generando 5V cada uno, con valor de inducción de fuerza de 637 N. Obtenido los sensores unidos y soldados se procedió a realizar un primer análisis de obtención de señal eléctrica resultante, para ello se aplican dos pruebas: la primera se realiza sin carga (sensor desconectado a un circuito cerrado) y la segunda con carga en trabajo. Las mediciones de tensión pico-pico que se obtuvieron de las terminales del piezoeléctrico, fueron mediante el uso del osciloscopio de almacenamiento digital DSOX2012A CAL.

Este dispositivo tiene un canal de pruebas que se conectó a través de una sonda al sensor piezoeléctrico, esta permitió obtener la señal natural que otorga el dispositivo ilustrado en la figura 3.

Para ello se colocó al sensor sin aplicarle alguna fuerza (N), esto con el propósito de poder realizar la prueba sin carga (en vacío) y de esta manera observar la naturaleza de la señal y así poder saber cómo tratar y aproximar una respuesta futura cuando se le coloque en un circuito cerrado con carga; la señal obtenida se muestra de forma tal como se observa en la figura 3. La señal obtenida no tiene forma alguna, solo presenta una ligera variación en voltaje, esto es debido a que el sensor no capta ninguna fuerza inducida y actúa tendiendo a un valor de cero voltios.

Secuencialmente, se realizó la misma prueba, pero con la diferencia de que el sensor si estará conectado a un circuito, el cual permitió obtener una fuerza aproximada de 637 N. entonces se observó la respuesta en el osciloscopio; notándose que tiene una variación en el tiempo, esta no se puede considerar como señal alterna, pero si puede ser tratada como señal cuadrada con flancos lentos tanto de subida como de bajada. Se observó que la variación

dependía de cómo fue ejercida la fuerza en dicho sensor, es decir cuando el impacto ha sido muy rápido la señal tuvo una variación mayor para luego calmar la intensidad y tener un valor más estable (figura 3).

Figura 3. Osciloscopio digital DSOX2012A Keysight Technologies; Canales: 2; 100 MHz; 2 Gps; 100 kpts/ch

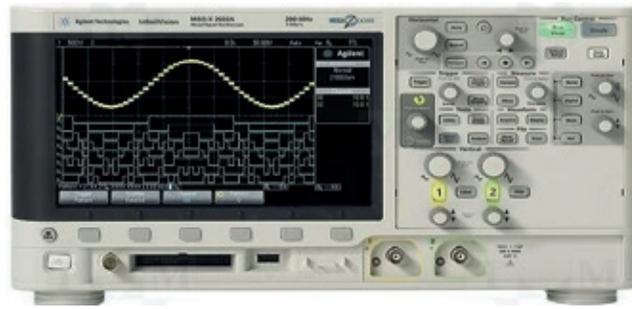


Figura 4. Imagen del osciloscopio digital DSOX2012A sin fuerza aplicada

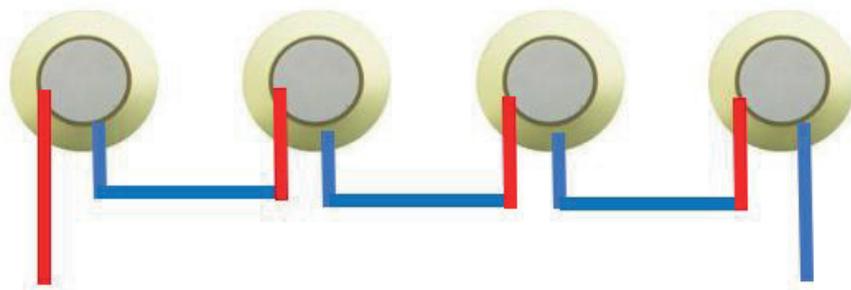


Figura 5. Imagen del sensor aplicando fuerza en el osciloscopio digital DSOX2012A



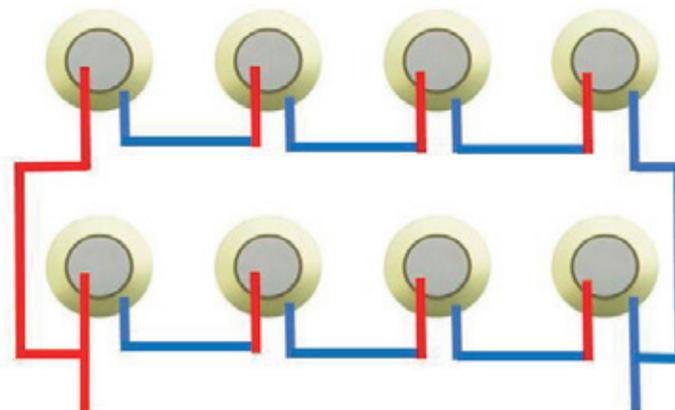
La medición del voltaje otorga 5 V en promedio para condiciones excelentes de fuerza aplicada al sensor; luego de obtener el valor aproximado estable otorgado por el sensor en condiciones de trabajo para la energía producida, se utilizó una fuente de almacenamiento (batería 12V 2.6A; modelo ANJING). Siendo la batería de 12 V, se requiere un valor mayor de accionamiento de la carga y almacenamiento de corriente. Para lograr esta exigencia se aplicó un arreglo en serie para poder sumar voltajes y llegar a obtener un voltaje final de 20 voltios sumados a los 4 sensores que es una tensión correcta para dirigirla a la fuente de almacenamiento. $V_F = 5 + 5 + 5 + 5 = 20 V$ (Figura 6).

Figura 6. Conexión en serie de 4 piezoeléctricos para obtener una tensión final de 20V



Teniendo en cuenta que a través de este arreglo de conexión en serie se consiguió 20 voltios, igualmente se debe obtener una intensidad de corriente estable que no cambie, por el contrario, que aumente; para conseguir lo mencionado se realizó un arreglo con 4 piezoeléctricos en serie y 4 en paralelo. Los circuitos mencionados se muestran en las figuras 4 y 5, otorgando una mayor carga a la fuente de almacenamiento de energía logrando una disponibilidad de energía eficiente.

Figura 7. Conexión de 2 circuitos en paralelo, cada uno con 4 sensores en serie



Antes de proceder a instalar el arreglo de circuito a la batería, se colocó un controlador de carga que concedió la rectificación de dicha señal (pasar de una onda senoidal con característica cuadrada a onda lineal continua Figura 8), permitiendo la transformación de la señal de corriente alterna obtenida del transductor piezoeléctrico en corriente continua que otorgó la alimentación de los dispositivos eléctricos y electrónicos a la carga de la batería para ser aprovechada según requerimiento o necesidad.

Figura 8. circuito en el controlador de carga

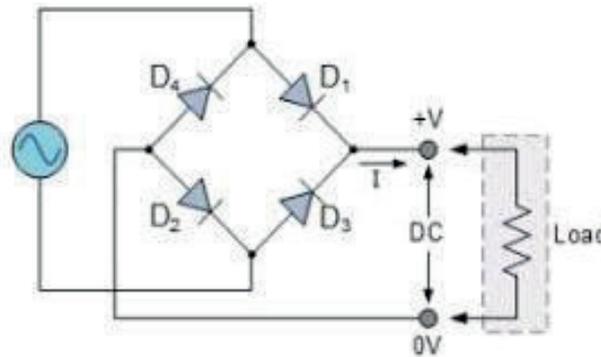


Figura 9. Controlador de carga EPSOLAR 6A conectado a la batería



La toma de datos indicó que la conexión del sistema con sensores piezoeléctricos otorgó en promedio 180 mA por cada arreglo de 4 sensores en serie y dos en paralelo del que se obtienen aproximadamente 200 mA. (Tabla 3) y una tensión eficaz promedio de 3,75 voltios (Tabla 3)

Tabla 3. Promedio de corriente en mA.

Medición	Corriente (mA)
1	160
2	190
3	180
4	170
Promedio:	180

Tabla 4. Tensión eficaz promedio

Medición	1	2	3	4	Prom.
Vp-p (V): voltaje pico-pico	3	4	3	5	3,75
Vp (V): voltaje pico	1.5	2	1.5	2.5	
Periodo (T) μ s	500	250	500	250	
Vrms: valor eficaz	3	4	3	5	

Cálculo del periodo de carga de la batería de 12 V 2.6 Ah.

$$T = \frac{C_t}{I_c} \quad (1)$$

$$I_c = 200 \text{ mA/h}; \quad C_t = 2.6 \text{ A}; \quad T = \frac{C_t}{I_c} = \frac{2.6 \text{ Ah}}{0.2 \text{ A}} = 13 \text{ h}$$

Donde:

Ic = intensidad de corriente obtenida

Ct = Carga total

T= Tiempo de carga en horas.

El circuito permitió que, a través de una fuerza constante de 637 N en un total de 13 horas, realice una carga al 100% en la batería, acumulando una energía equivalente de 60

kilovatios de potencia, evidenciando todo lo descrito en la representación del esquema final del sistema de generación de corriente piezoeléctrica para brindar servicio directamente al usuario (Figura 10).

Figura 10. Esquema de la conexión de 4 piezoeléctricos en serie y paralelo

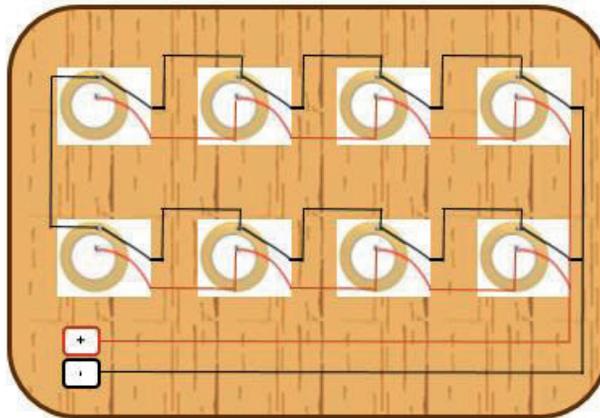
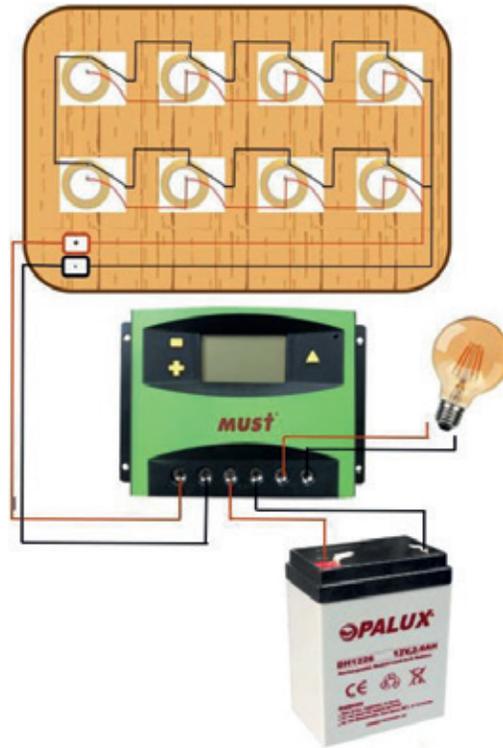


Figura 11. piloto de pruebas del sistema piezoeléctrico



Figura 12. Diagrama del circuito final para la entrega de energía eléctrica al usuario. En el regulador de carga los dos conectores de la izquierda instalados al piezoelectrico, los dos centrales a la batería y los dos conectores de la derecha directamente al usuario.



Cálculo de energía total generada (E_{tg}) en voltios

$$\text{Energía total entregada} = \frac{\text{voltaje del piezoelectrico}}{\text{pisada de estudiante}} \times N^{\circ} \text{ estudiantes} \quad (2)$$

$$E_{tg} = \frac{20 \text{ voltios}}{\text{pisada estudiante}} \times 15,000 \text{ estudiantes} = 300,000 \text{ voltios}$$

Cálculo de potencia generada en kilovatios

La potencia está dada por la intensidad de corriente multiplicado por la tensión

$$P = V \times I \quad (3)$$

$$P = V \times I = 300,000 \text{ voltios} \times 0.2 \text{ A} = 60,000 \text{ vatios} = 60 \text{ kilovatios}$$

Análisis de la energía generado por el sistema:

Por cada 13 horas de carga de la batería obtenemos: 60 kilovatios; entonces en 16

horas se genera: 73.85 kilovatios.

Costo soles en de energía cobrada por la empresa comercializadora de energía eléctrica ElectroDunas: 0.6664 Soles/kwh.

Costo de energía dejada de pagar diario: (Cedp)

$Cedp = \text{energía generada en 16 horas} \times \text{costo de energía por cada Kwh}$ (4)

$$Cedp = 73.85 \text{ kw(en 16)h} \times \frac{0.6664 \text{ soles}}{\text{kwh}}$$

$$cedp = 49.21 \text{ soles}$$

Ahorro de energía diario = 49.21 soles (equivalente a 16 horas de generación).

Ahorro de energía mensual

$$Cedp = 49.21 \frac{\text{soles}}{\text{dia}} \times 25 \text{ dias} = 1,230.25 \text{ soles}$$

Ahorro de dinero mensual = 1,230.25 soles

Ahorro de dinero anual = 1,230.25 x 12 = 14,763.00 soles

DISCUSIÓN

La tendencia de la implementación de sistemas piezoeléctricos de diversas formas en el mundo se da gracias al concepto “Energy Harvesting” la cosecha de energía, que ha permitido la selección de muchos proyectos de inversión de este tipo, encontrándose libre en todo nuestro entorno, así mismo la disponibilidad de conversión y aprovechamiento de otras formas de energía como la térmica, solar, eólica, mecánica, mareas y otras. (Ríos y Fernández, 2016; Jiménez, 2018) manifiestan que estas fuentes se encuentran en pequeñas cantidades y no tienen la capacidad de suministrar una potencia representativa, pero por intermedio de la innovación de sistemas tecnológicos apropiados se consigue almacenarlas y utilizarlas en diversas actividades domésticas e industriales, así mismo convertirlas en sistemas en autosuficientes para su posterior uso.

La generación de energía eléctrica no convencional en algunos países del mundo sobre todo los europeos, han logrado instalaciones de gran dimensión en lugares de alto tránsito peatonal, como los metros, centros comerciales, etc. El año 2008 la empresa

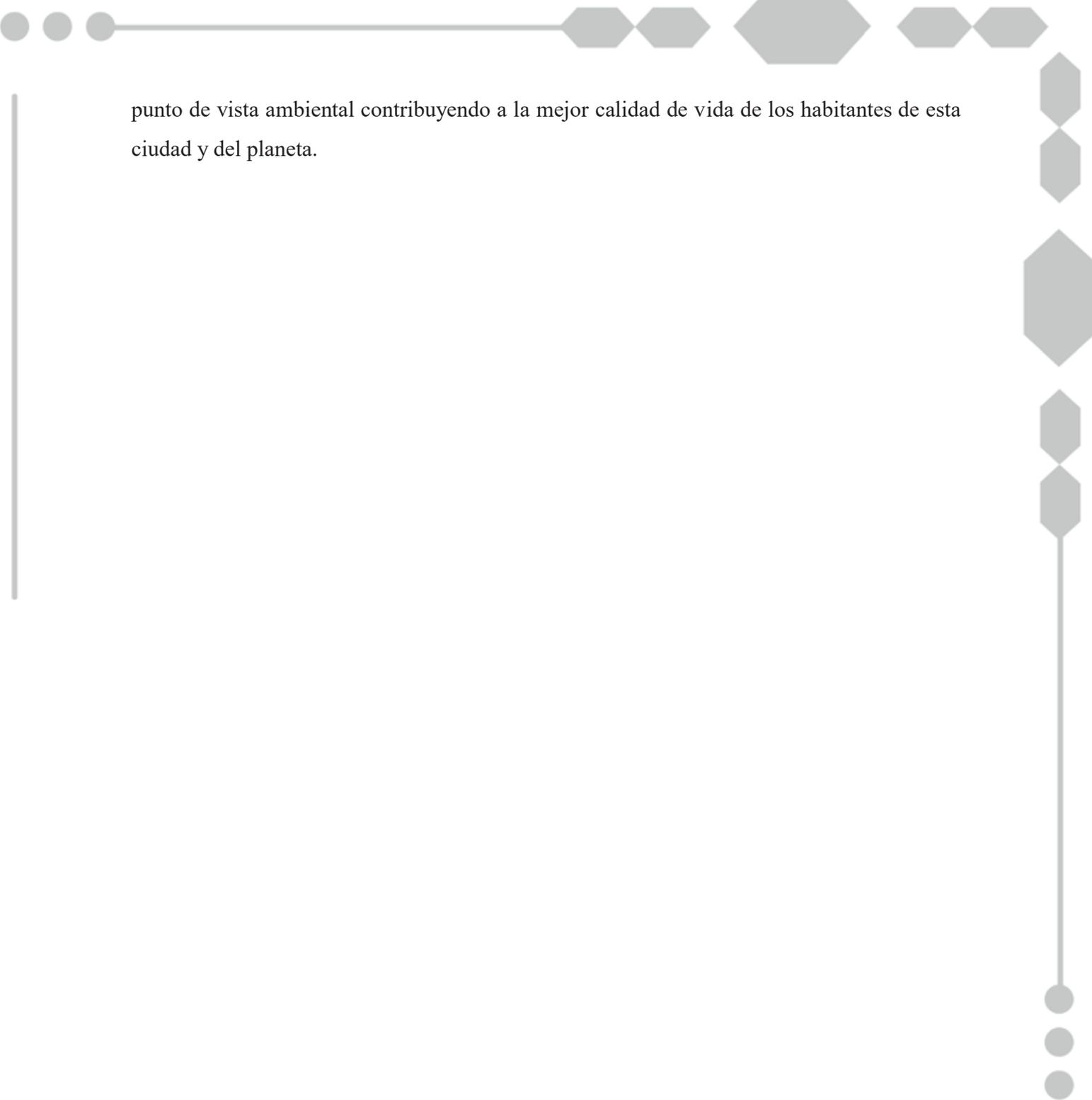
ferroviaria de pasajeros (East Japan Railway Company) propuso aprovechar el paso de los clientes, creando zonas con materiales piezoeléctricos ubicados en los torniquetes de entrada al metro, que tienen la capacidad de recoger la energía generada al caminar de las personas, pero la intención fue hacer funcionar las máquinas de lectura de tickets de los torniquetes conjuntamente con los carteles electrónicos; con este sistema se consiguió obtener 10 vatios/s con 90% de su capacidad de funcionamiento. Para el 2009 se amplió el área de pisadas a 25 metros cuadrados de la estación de Yaesu Kita donde esperaban alcanzar un total de 1400 kw/ cada día.

El Perú está incursionando con estudios importantes en este rubro tecnológico como el de (Concha y Zamalloa, 2017) en su estudio de viabilidad para generar energía eléctrica en los pasillos peatonales de las estaciones del tren eléctrico, donde determinaron una alta afluencia de personas en sus 26 estaciones; con lo que se ha estimado un ahorro energético significativo equivalente a S/ 130,000.00 soles anuales; este resultado es de gran impacto social, económico y sobre todo ambiental para este país.

En Sudamérica, el caso de Colombia (Cardozo y Tamayo 2017) en su trabajo de investigación demostraron que en 1 kilómetro de pavimento vehicular se puede obtener 200 kw/h de energía eléctrica con representativos resultados desde el punto de vista económico contribuyendo positivamente a la economía de su país y la conservación del medio ambiente. Así mismo, esta investigación permitió conocer que existen diversas propuestas a nivel nacional e internacional que con dedicación y esfuerzo sobre todo para los países subdesarrollados se conseguirán reconocidas magnitudes de energía no convencional generada para el bienestar y satisfacción de necesidades energéticas.

La elaboración de este trabajo permitió realizar la conformación de una baldosa piezoeléctrica piloto simple, pero que cumple con la expectativa de generar energía eléctrica renovable de costo cero, ubicado en un lugar físico de alto tránsito peatonal como es el campus universitario de la Universidad San Luis Gonzaga, Ica -Perú.

La obtención de 49,21 soles de ahorro diario de energía parece poco significativa, pero si extrapolamos por mes y por año este valor alcanza un valor muy representativo de 14,763.00 soles, que onerosamente tiene un significado no solamente económico de contribución al desarrollo de la institución, sino que tiene una gran importancia desde el



punto de vista ambiental contribuyendo a la mejor calidad de vida de los habitantes de esta ciudad y del planeta.

CONCLUSIONES

La tecnología actual ha permitido la innovación, desarrollo y aprovechamiento de las energías renovables como es el caso de la Energy Harvesting, que se ha convertido en una forma de energía competitiva que es utilizada en dispositivos desde muy pequeños de bajo rango de consumo, hasta una gama de aparatos y máquinas de mayor consumo.

El nivel cultural de los países será protagonista de la producción y utilización de las fuentes energéticas alternativas como la piezoelectricidad, que con su forma de producción limpia será del tipo amigable con el medio ambiente, puesto que en la medida que se reduzca el consumo de energías convencionales fósiles el planeta podría recuperar su condición natural y la recuperación del hábitat devastado por la depredación ecológica.

Generar energía eléctrica sostenible con un sistema piezoeléctrico en la vía peatonal de ingreso al campus la Universidad Nacional San Luis Gonzaga es un logro fundamental para el sostenimiento científico académico, sumado al aporte económico que representa la energía dejada de pagar por la institución y los múltiples servicios que se brindaran.

Se consideró que existen efectos positivos directos a la generación de energía limpia, como los escasos residuos antropogénicos, menor contaminación atmosférica, disminución de gases de efecto invernadero, recuperación paulatina de las especies en extinción, además del ahorro energético y económico de instituciones contribuyendo notablemente al mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agatón, F. J. (2014). *Análisis de la factibilidad económica y ambiental de utilizar baldosas piezoeléctricas en el campus de la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG)*. Recuperado el 03 de setiembre 2021, <http://hdl.handle.net/10654/12025>.

Álvarez-Herranz, A., Balsalobre-Lorente, D. y Shahbaz, M., (2017) *Energy innovation and renewable energy consumption in the correction of air pollution levels*, Energy Policy, vol. 105, pp. 386–397, doi: 10.1016/j.enpol.2017.03.009. Recuperado el 03 de setiembre 2021, <https://bit.ly/2YnUBuS>

Angulo, G., Escobar, L. y Montoya, Y. (2017) *Generación de energía eléctrica mediante el uso de material piezoeléctrico*. Technical Report October. Universidad de Magdalena Colombia. Recuperado el 03 de setiembre 2021, <https://www.researchgate.net/publication/321833041>

Baranes, E., Jacqmin, J. y Poudou, J. (2017) *Non-renewable and intermittent renewable energy sources: Friends and*, Energy Policy, vol. 111, no. April, pp. 58–67, doi: 10.1016/j.enpol.2017.09.018. Recuperado el 03 de setiembre 2021, <https://ur.booksc.eu/book/67205718/a40943>

Borda, J. (2017). *La demanda agregada de energía eléctrica y el medio ambiente en el Perú* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado el 28 de agosto 2021, <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5963>

Cardozo, N. y Tamayo, D. (2017) *El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá*. Colombia. Recuperado el 03 de setiembre 2021, <https://bit.ly/3mUe6Va>

Castellanos, N. (2013). *Evaluación preliminar del uso del efecto piezoeléctrico para generación de energía*. I, 8(15), 35–40. Recuperado el 03 de setiembre 2021, <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.8.15.2013.35-40>.

Concha, P. y Zamalloa, R. (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*. (Tesis de grado) Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú. Recuperado el 30 de setiembre 2021, <https://bit.ly/3mNMMIh>

Dávila, A., Gámez, E., Melo, G. y Pimienta, R. (2020). *Desarrollo de un prototipo de losa generadora de energía eléctrica usando sensores piezoeléctricos*. RenovaT. Vol 4

Num. 1, pp. 8-18. Recuperado el 03 de setiembre 2021, <http://revistas.sena.edu.co/index.php/rnt/article/view/3515/3951>

Elhalwagy, A., Ghoneem, M. y Elhadidi, M.(2017) *Feasibility Study for Using Piezoelectric Energy Harvesting Floor in Buildings' Interior Spaces*, Energy Procedia, vol. 115, pp. 114–126, Recuperado el 30 de setiembre 2021, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.012>

Fernández, R. (2017) *Energy Harvesting: Una técnica para generar energía “Trabajo fin de grado,”* Universidad autónoma de Madrid, p.4. Recuperado el 03 de setiembre 2021, <https://bit.ly/3keGG1S>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*, 6ª Ed. McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. de C.V. p 154, ISBN: 978-1-4562-2396-0

Ilyas, M. (2018) *Piezoelectric Energy Harvesting: Methods, Progress, and Challenges*. New York [Libro electrónico] Momentun press Engineering ISBN 9781945612701. Recuperado el 03 de setiembre 2021, <https://bit.ly/3wlc5ok>

Jiménez, F. (2018). *Análisis del estado actual de la tecnología Energy Harvesting (Recolectores de energía) basados en piezoelectricidad*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad Tecnológica - Tecnología en Electricidad Bogotá D.C., Colombia Recuperado el 30 de setiembre 2021, <https://bit.ly/3wndmv3>

Kang, M., Jung, W., Kang, C. y Yoon, S. (2016) *Recent progress on PZT based piezoelectric energy harvesting technologies*, Actuators, vol. 5, no. 1, doi: 10.3390/act5010005. Recuperado el 03 de setiembre 2021, <https://www.mdpi.com/2076-0825/5/1/5>

Marroquín, J. y Ríos, H. (2017) *Crecimiento Económico, Precios Y Consumo De Energía En México*, Ensayos Rev. Econ., vol. 36, no. 1, pp. 59–78, 2017, doi: 10.29105/ensayos36.1-3. Recuperado el 30 de agosto 2021, <https://ensayos.uanl.mx/index.php/ensayos/article/view/6>

Minaya Flores, G. A. (2018) *La Curva de Kuznets Ambiental (CKA) basada en el Indicador de Consumo Material Doméstico (CDM): Perú, 1970-2015*. [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado el 30 de agosto 2021, <https://bit.ly/2YtDbNC>

Patel, I. (2011). *Ceramic based intelligent piezoelectric energy harvesting device*. *InTech China*, 133-150. Recuperado el 03 de setiembre 2021, <https://www.intechopen.com/chapters/19252>

Ríos, F. y Fernández, P. (2016) *Factibilidad técnica y económica de implementar un sistema energy harvesting con generadores piezoeléctricos, en una zona de alto tráfico vehicular de la ciudad de Cali*. Pontificia Universidad Javeriana, Cali. Recuperado el 30 de setiembre 2021, <https://bit.ly/3BXG8Dv>

Shu, Y.C., y Lien, I.C. (2006). *Efficiency of energy conversion for a piezoelectric power harvesting system*. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 16, 2429-2438. DOI:10.1088/0960-1317/16/11/026 Corpus ID: 10452911 Recuperado el 03 de setiembre 2021, <https://bit.ly/3khj24O>