

Implementación de carreteras piezoeléctricas en la ciudad de Maracaibo como fuente de energía sostenible

Implementation of piezoelectric roads in the city of Maracaibo as a source of sustainable energy

Paola I. González-Arias

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org.0009-0006-9129-6020> | Correo electrónico: paolaisabel.gonzalez@gmail.com

Recibido:12-07-2024 Admitido:21-07-2024 Aprobado:01-08-2024

Resumen

La ciudad de Maracaibo enfrenta actualmente temperaturas ambientales bastante altas, exacerbadas por su ubicación geográfica y condiciones climáticas. Estas temperaturas pueden causar estrés térmico en los habitantes. Además, contribuyen al fenómeno de isla de calor urbano. Para disminuir la temperatura ambiental de la ciudad, se propone la implementación de carreteras piezoeléctricas, donde la energía mecánica generada por la vibración de los automóviles, se transforma en energía eléctrica. Representan una forma innovadora de capturar energía de manera limpia y sostenible desde una fuente renovable.

Palabras clave: Carretera piezoeléctrica, sostenibilidad, cambio climático.

Abstract

The city of Maracaibo is currently facing quite high ambient temperatures, exacerbated by its geographical location and climatic conditions. These temperatures can cause thermal stress in inhabitants. In addition, they contribute to the urban heat island phenomenon. To reduce the ambient temperature of the city, the implementation of piezoelectric roads is proposed, where the mechanical energy generated by the vibration of automobiles is transformed into electrical energy. They represent an innovative way to capture energy in a clean and sustainable way from a renewable source.

Keywords: Piezoelectric highway, sustainability, climate change

Planteamiento del problema

En la ciudad de Maracaibo, la temperatura ambiental a menudo supera los 35 °C durante gran parte del año, lo cual presenta preocupación constante para sus habitantes. El calor extremo tiene múltiples implicaciones negativas para la salud pública, el bienestar humano y el medio ambiente local. En términos de salud, puede aumentar el riesgo de golpes de calor, deshidratación y problemas respiratorios. Además, las altas temperaturas también afectan la calidad del aire, promoviendo la contaminación atmosférica y aumentando la concentración de gases contaminantes.

Maracaibo está ubicado geográficamente dentro de una región tropical, lo que contribuye a recibir una intensa radiación solar durante todo el año. Esta radiación se ve amplificada por la topografía plana y la presencia del Lago de Maracaibo, que actúa como una fuente adicional de calor debido a su capacidad para acumular y liberar energía térmica. Además, el efecto invernadero urbano juega un papel crucial. Este fenómeno se produce cuando las superficies urbanas como edificios, carreteras y otras estructuras absorben y luego liberan calor, elevando las temperaturas locales por encima de las áreas circundantes menos urbanizadas.

La búsqueda de soluciones para mitigar estas altas temperaturas se ha convertido en una prioridad, de lo contrario se verán afectados factores como la salud pública, el consumo energético y la calidad del aire. Uno de los objetivos concretos que se ha planteado es reducir la temperatura ambiental en al menos 2°C. Para cumplir con este desafío, se propone la implementación de carreteras piezoeléctricas en las calles o avenidas más concurridas de la ciudad de Maracaibo, las cuales tendrán la capacidad de recolectar la energía mecánica

generada por la vibración del tránsito de los automóviles y transformarla en electricidad, teniendo así una fuente de energía sostenible.

Las carreteras piezoeléctricas son una innovación tecnológica en infraestructura vial que utiliza materiales piezoeléctricos para generar electricidad a partir del movimiento de los vehículos que circulan sobre ellas. Estos dispositivos, “se sitúan incrustados en el pavimento, por lo que la funcionalidad de las carreteras se ve inalterada” [1, Pág. 3]. Las carreteras construidas con materiales piezoeléctricos podrían utilizar la energía generada para iluminar las calles, alimentar semáforos o cualquier tipo de sensores y potencialmente incluso para cargar coches [2].

La energía eléctrica convencional usada en el planeta ha producido, el desgaste de los recursos naturales, la variación de la temperatura, y esto ha originado diferentes desastres naturales, que han afectado en diferentes proporciones los lugares impactados [3]. En este sentido, la energía eléctrica generada a partir del material piezoeléctrico en las carreteras, es considerada energía sostenible. Existen algunos materiales con estructura cristalina, que cuando se les aplica una tensión mecánica, se produce un desplazamiento de las cargas negativas y positivas, lo que provoca un potencial de tensión. La piezoelectricidad se basa en la propiedad que tienen ciertos cristales de polarizar eléctricamente sus diodos cuando se aplica una tensión mecánica o eléctrica de esta forma el material, una vez deformado, produce energía eléctrica [4].

Según Jian-Qiao, S., Tian-Bing, X. y Atousa Y. [5]: Piezoelectric technologies provide the opportunity to harvest energy where stress or vibration is generated and have the advantages of high-power density, simplicity, and scalability for a variety of applications. Heavy traffic of ground vehicles and pedestrians on highways, streets, and sidewalks provides considerable mechanical energy. Harvesting this energy can increase distributed renewable energy capacity.

A raíz de los aspectos mencionados anteriormente, es de vital importancia la búsqueda de alternativas innovadoras que permitan reducir las altas temperaturas ambientales de la ciudad de Maracaibo. Esta propuesta se distingue por su enfoque innovador donde los materiales piezoeléctricos convierten la energía mecánica en electricidad aprovechable. Este enfoque no solo permite capturar energía renovable de manera continua y directamente desde el tráfico vehicular, sino que también se integra fácilmente con la infraestructura existente sin necesidad de ocupar espacio adicional.

Justificación

Es conocido que la ciudad de Maracaibo enfrenta actualmente un desafío significativo debido a las elevadas temperaturas ambientales que impactan negativamente en la calidad de vida de sus habitantes. Además, este fenómeno incide en el consumo energético, ya que el uso extendido de sistemas de refrigeración y aire acondicionado para contrarrestar el calor eleva la demanda eléctrica, contribuyendo a mayores emisiones de gases de efecto invernadero y aumentando el costo energético para los ciudadanos.

Con el objetivo de abordar este problema de manera innovadora y sostenible, se propone la implementación de carreteras piezoeléctricas en las avenidas más concurridas de Maracaibo. Este sistema permite convertir la energía en electricidad utilizable, la cual podría ser integrada a la red eléctrica urbana como una fuente adicional de energía limpia y renovable.

La adopción de carreteras piezoeléctricas en la ciudad de Maracaibo no solo contribuirá a la reducción de las temperaturas ambientales al mitigar parte del impacto térmico generado por la infraestructura urbana y el tráfico vehicular, sino que también promoverá la autosuficiencia energética local y la reducción de la huella de carbono de la ciudad. La principal ventaja radica en la generación de energía renovable directamente desde el tráfico vehicular, reduciendo así la dependencia de fuentes de energía no renovables como los combustibles fósiles. Además, esta tecnología representa una inversión a largo plazo en infraestructura verde, fomentando un desarrollo urbano más sostenible y resiliente frente a los efectos del cambio climático.

Objetivos de la investigación

A continuación, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación:

Objetivo general

Proponer la implementación de carreteras piezoeléctricas en la ciudad de Maracaibo para la recolección de energía eléctrica como fuente de energía sostenible.

Objetivos específicos

Desarrollar un sistema de recolección de energía piezoeléctrica aplicable a las carreteras de la ciudad de Maracaibo.

Demostrar la efectividad del sistema de recolección de energía piezoeléctrica para lograr una alta densidad de recolección de electricidad por unidad de longitud de la carretera.

Metodología

1. Selección de las baldosas piezoeléctricas

Se requiere que el sistema de recolección de energía piezoeléctrica (SREP) tenga una alta capacidad de generación de energía, alta confiabilidad y alta estabilidad. Todos estos requisitos dependen, en primer lugar, del material piezoeléctrico adoptado. En la actualidad, los materiales piezoeléctricos incluyen cerámica piezoeléctrica, cristal piezoeléctrico, polímero piezoeléctrico, entre otros. Su capacidad de generación de energía se evalúa mediante la constante tensión piezoeléctrica, la confiabilidad mediante la resistencia mecánica, y la estabilidad mediante las estabilidades de los parámetros de rendimiento.

Para los fines de este proyecto, la utilización de titanato de circonato de plomo (PZT) es una elección ideal para carreteras piezoeléctricas debido a su alta constante dieléctrica y densidad de carga piezoeléctrica. Estas propiedades permiten que el PZT genere una cantidad significativa de electricidad cuando se deforma mecánicamente, como ocurre con el paso de vehículos sobre las carreteras. Esta capacidad de convertir eficientemente la energía mecánica en eléctrica hace que el PZT sea adecuado para implementar tecnologías sostenibles en áreas urbanas como Maracaibo.

2. Diseño del sistema de recolección de energía utilizando baldosas piezoeléctricas

2.1. Diseño y análisis mecánico

Los recolectores de energía piezoeléctrica (REP) deben diseñarse en cuanto a espesor, longitud, ancho y material de la viga mediante el desarrollo de modelos teóricos y el análisis del mecanismo de amplificación de la fuerza de compresión. Además, hay que desarrollar un procedimiento de selección óptima multiobjetivo de varios parámetros para que el REP maximice la energía eléctrica recolectada y la confiabilidad. El primer paso es diseñar y fabricar REP multicapa de modo dual. Adicionalmente, se debe considerar cómo empaquetar las pilas piezoeléctricas en una carcasa mecánica que las proteja de cargas laterales y de las condiciones climáticas. El segundo paso consiste en investigar cómo integrar los recolectores de energía piezoeléctricos en un sistema junto con la electrónica de potencia para permitir el uso de la electricidad, por ejemplo, mediante la carga de baterías.

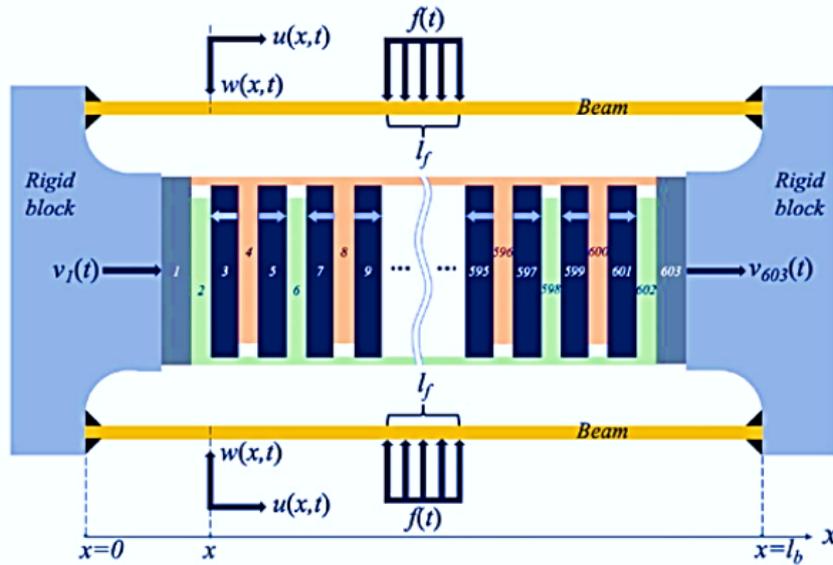


Figura 1. Esquema del sistema de recolección de energía piezoeléctrica[5].

2.2. Análisis dinámico del recolector de energía piezoeléctrica

Se puede hacer la estimación de que la rueda de un vehículo que pasa proporciona una fuerza de compresión impulsiva de forma triangular sobre el REP. La duración del impulso es igual al tiempo que tarda el vehículo en pasar sobre el REP, y el valor máximo del impulso está determinado por el peso del vehículo, así como por la reacción dinámica de la suspensión del vehículo. En el análisis dinámico se puede utilizar un modelo de elementos finitos de pilas PZT. Para las vigas no lineales, se ignora la dinámica del desplazamiento axial porque la frecuencia de la vibración axial es mucho mayor que la de las deflexiones.

2.3. Diseño de torre de recolección

Se requiere diseñar y fabricar estructuras de contención para albergar y proteger el REP. Los REP se integran en una estructura llamada torre de recolección de energía piezoeléctrica (TREP). Este diseño vertical mejora la densidad energética. Las unidades se apilan en un cilindro y se comportan como múltiples resortes no lineales conectados mecánicamente en serie. El diseño de la torre, debe formar un ángulo de 90° con el REP superior e inferior de la torre para mejorar la estabilidad mecánica.

2.4. Diseño del sistema electrónico de potencia

El objetivo de este paso es diseñar y fabricar un sistema electrónico de potencia para gestionar la electricidad del sistema de recolección de energía piezoeléctrica. Para lograr esto, primero se debe desarrollar el diseño de un circuito. En la Figura 2, se muestra el diseño de un circuito desarrollado para sistemas REP. Debido a que puede haber conexiones eléctricas tanto en serie como en paralelo, se utilizó para el diseño del circuito un puente rectificador completo para evitar interacciones eléctricas.

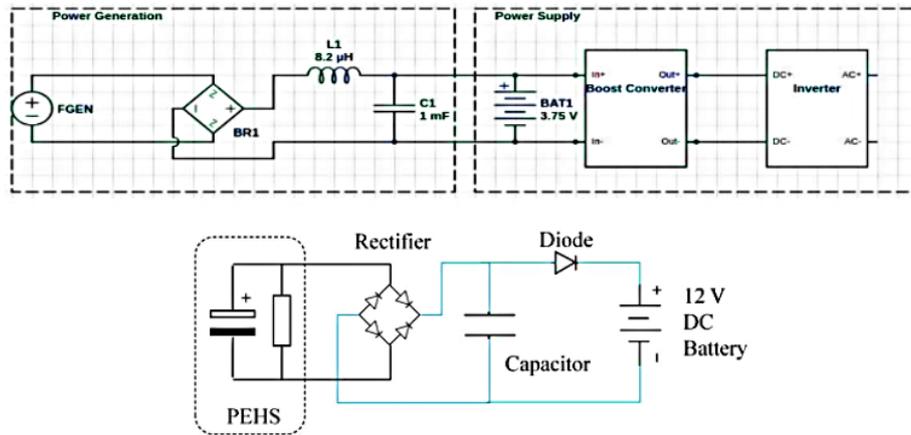


Figura 2. Layouts del circuito para sistemas de recolección de energía piezoeléctrica[5].

2.5. Proceso de la construcción de vías piezoeléctricas.

A continuación, se presenta el paso a paso correspondiente al proceso de construcción de las carreteras piezoeléctricas.



Figura 3. Pasos del proceso de construcción de carreteras piezoeléctricas

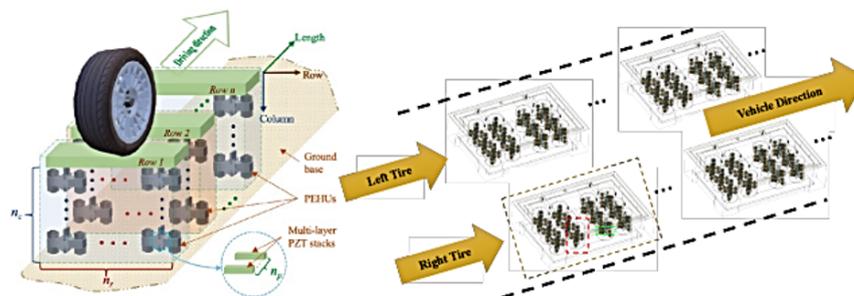


Figura 4. Layout del diseño de carreteras piezoeléctricas [5]

En la Figura 4, se aprecia el layout del diseño de las carreteras piezoeléctricas mostrando el detalle de la implementación de las TREP debajo del pavimento.

Resultados esperados

Esta investigación demuestra que la tecnología para recolectar energía piezoeléctrica es prometedora. El diseño se basa en la piezoelectricidad que se produce en respuesta a la tensión mecánica aplicada sobre

algún sólido. Se propone la colocación de un sensor piezoeléctrico debajo de la superficie de la carretera que produciría electricidad a partir de la vibración causada por el movimiento de los vehículos en la carretera. Esta tecnología piezoeléctrica podría producir hasta 44 MW de electricidad al año [6].

El principio básico que se utiliza para generar electricidad es el efecto piezoeléctrico. Un material piezoeléctrico es aquel que convierte la energía mecánica o la energía vibratoria que se experimenta en él, en una carga que puede ser almacenada. Cuando se ejerce una fuerza o presión sobre el material de cristal piezoeléctrico elástico, el cristal se deforma y esto hace que se desarrolle carga entre ellos y el cristal vuelva a su estado original. El proceso de este diseño se basa en la circulación de vehículos sobre la carretera, ejerciendo una fuerza sobre ese material. La presión se genera durante la aplicación de esta fuerza, por lo tanto, la presión se convierte en energía eléctrica. Este flujo de carga se convierte en un voltaje que se puede almacenar en una batería. Posteriormente, la energía eléctrica se distribuye y puede ser utilizada para alimentar el alumbrado público, reduciendo así la dependencia de fuentes de energía convencionales y contribuyendo a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero [7].

Como ya se ha explicado anteriormente, en este método se utiliza un dispositivo de generación de energía eléctrica instalado debajo de la calzada. Este dispositivo generador de electricidad incluye una capa cubierta con una o más capas de protección ubicados debajo de la superficie de la carretera. En este proceso, el material se incrusta debajo de la carretera con el dispositivo generador de electricidad por un camino con generadores piezoeléctricos integrados. Parte de la energía que el vehículo expande en la deformación de las carreteras se transforma en energía eléctrica. Este dispositivo generador de electricidad incluye placas de presión que se cubren con una capa de asfalto. El efecto piezoeléctrico convierte la tensión mecánica en energía eléctrica (corriente o voltaje)[8].



Figura 5. Representación gráfica del tráfico de recolección de energía piezoeléctrica[5]

La implementación de carreteras piezoeléctricas representa una innovadora y efectiva solución para disminuir las altas temperaturas de la ciudad de Maracaibo. La idea consiste en aplicar la tecnología piezoeléctrica en las carreteras de las avenidas más transitadas de la ciudad. Mientras más concurrida sean las calles donde se colocará la tecnología piezoeléctrica, más energía eléctrica será recolectada.

Una de las principales ventajas de esta tecnología es su capacidad para generar energía de manera continua y directamente en el punto de uso, evitando así pérdidas asociadas con la transmisión de electricidad a largas distancias. Las carreteras piezoeléctricas también podrían tener un impacto económico positivo al fomentar la innovación tecnológica y crear nuevas oportunidades de empleo en el sector de la energía renovable y la construcción de infraestructuras sostenibles. Aunque el desembolso financiero para equipar las carreteras con la tecnología es significativo y el retorno de la inversión es a largo plazo, aprovechar esta fuente de energía fácilmente disponible promueve el objetivo de la disminución de emisiones de carbono, lo cual, a su vez

puede lograr la disminución de la temperatura ambiental en la ciudad de Maracaibo al haber un descenso en la generación de gases de efecto invernadero.

La implementación de carreteras piezoeléctricas en la ciudad de Maracaibo representa una solución innovadora. Al aprovechar la energía cinética de los vehículos para generar electricidad renovable y aliviar el calor urbano, estas carreteras no solo pueden mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, sino también sentar las bases para un futuro más limpio y resiliente frente al cambio climático global.

Referencias bibliográficas

- [1] J. Perelló Ibarra, “Estudio de la energía obtenida mediante dispositivos piezoeléctricos incrustados en el pavimento de carreteras”, trabajo de maestría, ETSEIB, 2020. [En Línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/329679>
- [2] A. Jędrzejowska, “Self-sustainable roads using piezoelectricity? Medium”, *Medium*, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://medium.com/@AnnaJedrzejowska/self-sustainable-roads-using-piezoelectricity-14c37790cb06>
- [3] S. González Molina, “Plan de negocios de baldosas piezoeléctricas como fuente de energía alternativa en la ciudad de Villavicencio para la empresa Step Energy”, trabajo especial de grado, Univ. Santo Tomás, 2019. [En Línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/16895?show=full>
- [4] J. Paz Colchon, “Generación de energía piezoeléctrica a partir de la vibración de los perfiles viales del pavimento en la región Lambayeque”, trabajo especial de grado, UNPRG, 2022. [En Línea]. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10776>
- [5] S. Jian-Qiao, X. Tian-Bing, y Y. Atousa, “Ultra-High Power Density Roadway Piezoelectric Energy Harvesting System”, California Energy Commission, 2020. [En Línea]. Disponible en: <https://www.energy.ca.gov/publications/2023/ultra-high-power-density-roadway-piezoelectric-energy-harvesting-system>
- [6] Z. Chen, “Piezoelectric Roads: Paving The Way For A Sustainable Future”, *Woke Waves*, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://www.wokewaves.com/posts/piezoelectric-energy-harvesting-roads>
- [7] X. Sun, “An overview of the piezoelectric. Power generation system for electricity generation”, *Journal of Power and Energy Engineering*, vol. 5, pp. 12-15, 2017. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.4236/jpee.2017.52002>
- [8] A. Thakur M. Dewangan y P. Lalwani “Piezoelectric roads”. *International Journal of Advanced Research in Science and Engineering*, vol. 2, pp. 82-85, 2017. [En Línea]. Disponible en: <http://doi.org/10.22214/ijraset.2020.27228>