



**FACULTAD INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.**

**LICENCIA CREATIVE COMMONS:** Atribución no comercial sin derivadas 2.5 Colombia

**AÑO DE ELABORACIÓN:** 2017

**TÍTULO:** El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá.

**AUTOR (ES):**

Cardozo Gutiérrez, Natalia Katherine y Tamayo Zapata, Diego Armando

**DIRECTOR(ES)/ASESOR(ES):**

Rincón Rodríguez, Heberto

**MODALIDAD:**

Trabajo de investigación

**PÁGINAS:** 103 **TABLAS:** 26 **CUADROS:** 3 **FIGURAS:** 41 **ANEXOS:** 9

**CONTENIDO:**

1. INTRODUCCIÓN
2. ANTECEDENTES
3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA
4. OBJETIVOS
5. JUSTIFICACIÓN
6. DELIMITACIÓN
7. MARCO DE REFERENCIA
8. METODOLOGÍA
9. DISEÑO METODOLÓGICO
10. SISTEMAS IMPLEMENTADOS



11. IMPLEMENTACIÓN DE UN PERFIL TRANSVERSAL

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

Anexos

### **DESCRIPCIÓN:**

La generación de energía sostenible, mediante la implementación de sistemas alternos y tecnológicos, se ha convertido en un tema de interés en la última década, puesto que son capaces de convertir sucesos cotidianos en herramientas funcionales para nuevos sistemas. Este documento analiza las condiciones básicas necesarias para la implementación del sistema piezoeléctrico, en un perfil transversal piloto en la ciudad de Bogotá y con ello determinar la viabilidad de su instalación en la ciudad y el costo-beneficio que traería este sistema.

### **METODOLOGÍA:**

Se elaboró una investigación documental la cual se realizó por medio de documentos, textos científicos y resultados obtenidos de la utilización de esta tecnología, la anterior investigación se desarrolló con la finalidad de obtener datos para la aplicación de la tecnología de piezoeléctrico en la ciudad de Bogotá

### **PALABRAS CLAVE:**

ENERGÍA SOSTENIBLE, MATERIALES PIEZOELÉCTRICOS, SECCIÓN TRANSVERSAL, VEHÍCULOS.

### **CONCLUSIONES:**

Se estableció que los sistemas piezoeléctricos son un sistema eficiente y amigable con el ambiente y el entorno donde sea instalado, siendo fuentes de energías alternativas y sostenibles, con una múltiple opción en su forma e instalación. Evaluando los posibles impactos de la implementación de este sistema en la ciudad de Bogotá, se estableció que no genera daño para la zona de su implementación, pero si beneficios como la reducción del consumo de energía en el alumbrado de la zona, garantizando un mejor servicio tanto para los peatones como para el tránsito vehicular; este sistema también puede ser usado como un dispositivo de monitorio de la vía en tiempo real.

Con base a los estudios realizados por diferentes empresas a nivel mundial, se logró determinar que dentro de los factores esenciales para el buen funcionamiento de la tecnología, se encuentra el alto tráfico de vehículos pesado

## RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE -



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
de Colombia  
Vigilada Mineducación

RIUCaC

complementado con un volumen mixto vehicular, capaz de garantizar un paso constante por el punto donde se han sido instalado los piezoeléctricos y con ello la generación de la energía mecánica que posteriormente será energía eléctrica. Otro de los factores determinantes es el ancho de la vía donde se instalará el sistema, manteniendo una relación directamente proporcional donde a mayor ancho disponible, mayor paso vehicular y por ende mayor generación de energía eléctrica.

A través del análisis realizado a los posibles puntos de ubicación del perfil transversal piloto, se seleccionó la intersección identificada como AK\_72\_X\_AC\_17, ubicada entre la Av. Boyacá y la Av. calle 17, tomando como criterio principal el porcentaje de camiones (%CAM) que pasan por esta intersección según el aforo realizado por la Secretaria de Movilidad en el año 2014, donde se halló que de 4 posibles estaciones evaluadas por sus altos volúmenes mixtos de vehículos, esta intersección es superior en los valores registrados para el paso de vehículos pesados (camiones), componente vital en el éxito de sistema piezoeléctrico.

De este perfil transversal piloto, se comparó y analizo los datos de aforo realizados el día 30 de agosto de 2014 por Secretaria de Movilidad, para sus 4 accesos, categorizando los vehículos según su tipología lo cual abarco desde vehículos liviano hasta las bicicletas que transitaron por cada acceso, de este estudio se concluyó que dicha intersección presenta 3 periodos de máxima demanda los cuales son: periodo 1 (07:30-08:30), periodo 2 (12:30-13:30) y periodo 3 (16:00-17:00), donde el periodo 1 es el más representativo presentando un volumen mixto vehicular total de 17.865 como se observa en las tablas 10 y 11.

De acuerdo a los volúmenes encontrados esta intersección en un día de observación tiene un volumen total 273.010 vehículos mixtos de los cuales el 6% corresponde a camiones, equivalente 17.152 vehículos y el 63% corresponde a vehículos livianos, equivalente a 170.869 vehículos; con base a estas cifras se evidencio la importancia no solo de los vehículos pesado, sino también de un alto tráfico de vehículos livianos capaces de contribuir a la eficiencia del sistema piezoeléctrico, el cual se rige primordialmente por una alta demanda vehicular en la zona donde sea instalado.

La composición vehicular de cada acceso, fue analizada y evaluada dando como resultado que el acceso occidental en su calzada lenta identificado en esta investigación con el número 3, aporta el mayor volumen vehicular a la



intersección con el paso de 55.978 vehículos mixtos, en las 24 horas de conteo (aforo).

Del anterior estudio, se realizó la clasificación de los perfiles, mediante una diagramación aproximada de sus dimensiones, arrojando como resultado que tanto la Av. Boyacá como la Av. calle 17 son perfiles con un ancho total superior al exigido por un perfil V-4, por tanto el perfil vial de la Av. Calle 17 fue clasificado como un V-3<sub>A</sub> o V-3<sub>B</sub> por tener un ancho total mayor a 31 m, y el Perfil vial Av. Boyacá fue clasificado como un tipo V-1<sub>A</sub> o V-1<sub>B</sub> por tener un ancho total mayor a 60 m. Es importante resaltar que esta clasificación se basa en el ancho total del perfil y se realizó con el objetivo de evaluar el área disponible para la instalación del sistema piezoeléctrico.

En la búsqueda de dar respuesta al objetivo de este documento, se determinó que este perfil transversal piloto si es viable para implementación del sistema piezoeléctrico en la ciudad de Bogotá, esto con base a los datos obtenidos de los aforos realizados al perfil seleccionado, debido a que cumple con los requisitos analizados de las implementaciones ya hechas a nivel mundial; es de aclarar que este concepto se hace en referencia a los volúmenes determinados en el años 2014, por ello se recomienda para su fase de implementación hacer una actualización de los aforos, donde seguramente los volúmenes serán mayor a los analizados en este documentos corroborando el viabilidad de la instalación de este sistema alternativo para la generación de energías sostenibles.

Por otra parte, se recomienda realizar planes de manejo de tráfico adecuados para la intervención civil a la cual se verán expuestos los perfiles en los que se desea realizar la implementación de la tecnología piezoeléctrica, como también realizar una adecuada señalización que ayude a prevenir accidentes de tránsito que involucren los trabajos realizados.

Para el proceso de instalación se aconseja que los paneles piezoeléctricos se instalen por debajo de la carpeta asfáltica, su ubicación se debe realizar en los guardas ruedas, es decir que los paneles se deben realizar a las esquinas de carril para garantizar que el paso de los vehículos generen vibraciones en los paneles instalados, con la finalidad de preservar el material piezoeléctrico el mayor tiempo posible; teniendo en cuenta que su vida útil es de 30 años durante este tiempo no necesitan ningún tipo de mantenimiento, se recomienda realizar una mantenimiento preventivo a la estructura del pavimento para conservar la integridad de los elementos instalados.



La implementación del sistema piezoeléctrico incluyendo la obra civil tiene un costo de valor de \$606.800 (seiscientos seis mil ochocientos pesos) por m<sup>2</sup>, con este valor se realizó la proyección en tres intersecciones viales en la ciudad las cuales cumplen con las condiciones mínimas para la implementación de este sistema. Los valores que se tomaron para realizar la proyección del valor por m<sup>2</sup> están actualizados al año 2016, por lo tanto se deben ejecutar las proyecciones necesarias que reflejen el valor real a los años posteriores a la redacción de este documento.

Al observar las restricciones del fabricante respecto al despliegue del conocimiento del funcionamiento de la tecnología puede ser una razón por la cual no se ha expandido su uso a nivel mundial. Este trabajo incide en dar lugar a una mirada sobre esta tecnología y todo lo necesario debate de sus posibilidades.

**FUENTES:** Es la misma bibliografía (referencias) del trabajo de grado. Ejemplo:

A.T. Papagiannakisa, S. D. (2016). *ScienceDirect*. Obtenido de [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

Ahad, J. S. (2015). Piezoelectric-Based Energy Harvesting Technology for Roadway Sustainability. *International Journal of Applied Science and Technology*, 20.

Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaria General . (s.f.). *Alcaldía Mayor de Bogotá*. Obtenido de <http://www.bogota.gov.co/tag/alumbrado-p%C3%BAblico>

Aligarh Muslim, E. E. (2013). *Piezo-Smart Roads*. India: International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, ISSN: 2319-7463.

Andreia Ferreira, J. R. (s.f.). *Tecnologias sustentáveis para a produção de energia a partir de estradas*. . Brasil.

Azima DLI. (s.f.). *Azima DLI*. Obtenido de <http://www.azimadli.com/vibman-spanish/queesvibracin.htm>

Bosch, R. (1999). *Manual de Técnica del Automovil Tercera Edición*. Barcelona: Reverté S.A.



- Brewster, S. D. (1824). *The Edinburgh Journal of Science*. Londres: Harvard.
- Castellanos, N. (2013). Evaluación Preliminar del Uso del Efecto Piezoeléctrico para Generación de Energía. *Inventum No. 15*, 35-40.
- Commission, C. E. (2014). *ASSESSMENT OF PIEZOELECTRIC MATERIALS FOR ROADWAY ENERGY HARVESTING*. California: Enero.
- Congreso de la República de Colombia. (2001). *Sistema de gestión de información y conocimiento en fuentes no convencionales de energía renovable en colombia*. Obtenido de <http://www1.upme.gov.co/sgic/?q=content/ley-697-de-2001>
- CORPORATION, L. (27 de 10 de 2016). *LORD SENSING MicroStrain*. Obtenido de LORD SENSING MicroStrain: <http://www.microstrain.com/>
- Dr. Lucy, E. (2010). *Innowattech: Harvesting Energy and Data*. Obtenido de [https://www.iroads.co.il/sites/default/files/mtsgt\\_1\\_innowattech\\_presentation\\_-lucy\\_edery-azulay.pdf](https://www.iroads.co.il/sites/default/files/mtsgt_1_innowattech_presentation_-lucy_edery-azulay.pdf)
- East, J. (4 de 11 de 2016). *JR East*. Obtenido de JR East: <http://www.jreast.co.jp/e/development/press/20080111.pdf>
- Electric, S. (28 de 10 de 2016). *Scheider Electric*. Obtenido de Scheider Electric: [http://www.controlservices.com/documents/andover\\_continuum\\_catalogue.pdf](http://www.controlservices.com/documents/andover_continuum_catalogue.pdf)
- Elizondo, M. C. (03 de 2000). Obtenido de [http://eprints.uanl.mx/10005/1/6\\_Miguel\\_Cupich\\_et\\_al\\_actuadores\\_Piezo.pdf](http://eprints.uanl.mx/10005/1/6_Miguel_Cupich_et_al_actuadores_Piezo.pdf)
- Energía, M. d. (2007). *Alumbrado Público Exterior*. Bogotá: UPME .
- Ferreira, F. D. (2011). *SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NOS PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS*. Coimbra, Portugal.
- García, Á. F. (s.f.). *Curso Interactivo de Física en Internet*. Obtenido de <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/introduccion/Introduccion.html>



Gerenciacarlos. (19 de 05 de 2011). Obtenido de <http://gerenciacarlos.zoomblog.com/archivo/2011/05/19/en-Que-Consisten-Los-Estudios-Explorat.html>

Gobierno de España - Ministerio de ciencia e innovacion. (2010). *Boletín VT*. España.

Google. (s.f.). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com.co/maps/place/Ak+68+%2326-21,+Bogotá/@4.6563079,-74.1048236,14z/>

Google. (s.f.). *Google Maps*. Obtenido de [https://www.google.com.co/maps/place/4°37'44.7"N+74°07'20.8"W/@4.62963,-74.126623,1181m](https://www.google.com.co/maps/place/4°37'44.7)

Google. (s.f.). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com.co/maps/place/puente+avd+NQS+con+calle+30/@4.6459988,-74.0902768,2391m>

Google Maps. (s.f.). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com.co/maps/@4.6489938,-74.1263217,759m/data=!3m1!1e3>

Graham, T. J. (3 de 11 de 2016). *Documents*. Obtenido de Documents.mx: <http://documents.mx/documents/footstep-electricity-ppt.html>

Guimarães, F. B. (s.f.). *SUSTENTABILIDADE APLICADA À LOGÍSTICA DE TRANSPORTE TERRESTRE E ESTUDO DA APLICAÇÃO DA ENERGIA PIEZOELÉTRICA NO BRASIL*. Brasil.

Hernández, C. M. (2011). *VALORACIÓN DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE UN DISPOSITIVO CON EFECTO PIEZOELÉCTRICO EN LAS ENTRADAS VEHICULARES DE LA SEDE CENTRAL DE LA UIS*. Bucaramanga.

Hidalgo, I. V. (18 de 12 de 2005). *Gestiopolis*. Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/tipos-estudio-metodos-investigacion/>

IDU, I. D. (12 de 04 de 2016). *IDU*. Obtenido de <http://app.idu.gov.co/geodata/IntenasMain/referencia.html>

**RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN  
- RAE -**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia  
Vigilada Mineducación

RIUCaC

IDU, I. D. (12 de 04 de 2016). *IDU*. Obtenido de <http://app.idu.gov.co/geodata/IntenasMain/referencia.html>

Innowattech. (27 de 10 de 2016). *Innowattech*. Obtenido de [www.innowattech.co.il](http://www.innowattech.co.il)

International Association of Engineer. (04 - 06 de 07 de 2012). *IAENG*. Obtenido de <http://www.iaeng.org/publication/WCE2012/>

Medellín, R. N. (27 de 10 de 2016). *RutaN Medellín*. Obtenido de RutaN Medellín: <http://rutanmedellin.org/es/actualidad/item/treevolt-sensores-que-generan-energia>

Merino, J. P. (2008). *Definicion.de*. Obtenido de <http://definicion.de/energia/>

Miñarro, J. R. (s.f.). *Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado*. Obtenido de [http://newton.cnice.mec.es/materiales\\_didacticos/energia/cinetica.html](http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/cinetica.html)

Oriol Barrufet Ibós, E. (s.f.). *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona*. Obtenido de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/25398/PFC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Orozco, E. S. (2014). *Diseño de un Colector de Energía Piezoeléctrico (Energy Harvesting) Mediante Optimización Topológica que Maximice la Transformación de Energía Mecánica en Eléctrica Generada por un Ser Humano al Caminar*. Medellín, Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/47308/1/1128267719.2015.pdf>

Ruta N, M. (07 de Octubre de 2014). *RutaN Medellin*. Obtenido de <http://rutanmedellin.org/es/actualidad/item/treevolt-sensores-que-generan-energia>

Secretaria de Movilidad. (2004). *Cartilla de monitoreo tránsito y transporte urbano*. Bogotá.

SI3EA. (s.f.). Obtenido de <http://www.si3ea.gov.co/Home/MarcoReglamentariodelasFNCEenColombia/tabid/80/language/en-US/Default.aspx>



Sólo ciencia. (s.f.). *Sólociencia.com*. Obtenido de  
<http://www.solociencia.com/quimica/08031806.htm>

Sutrisno W. Ibrahim, a. W. (2012). *Power Enhancement for Piezoelectric Energy Harvester*. London, U.K: Proceedings of the World Congress on Engineering 2012 Vol II .

Tipler, P. A. (2006). *Física para la ciencia y la tecnología Volumen 2A*. Gene Mosca: Editorial Reverté.

UNET. (s.f.). *UNET*. Obtenido de [http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F\\_DE\\_T-165.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm)

UPME. (2014). Obtenido de  
[http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY\\_1715\\_2014.pdf](http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf)

#### **LISTA DE ANEXOS:**

Anexo 1

Anexo 2

Anexo 3

Anexo 4

Anexo 5

Anexo 6

Anexo 7

Anexo 8

Anexo 9 resumen