

Generadores Piezoeléctricos como Alternativa Energética: Evaluación de Factibilidad en la Implementación en Vías en Ciudades Intermedias

Piezoelectric generators as alternative energy:
Feasibility assesment in the implementation
in roads in intermediate cities

Geradores piezelétricos como uma alternativa de
energia: Avaliação da viabilidade na implementação
de estradas em cidades intermediárias

Camilo Lesmes Fabian

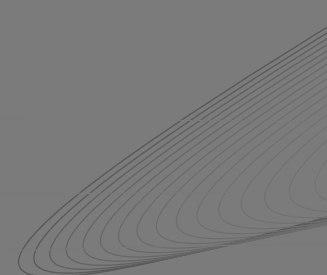
Ingeniero Agrónomo. Magister M.Sc en Ciencias Ambientales -
Wageningen University And Research Center. Ph.D en Antropogeografía.
Universidad de Munich – Alemania. Docente investigador, Universidad Santo Tomás, c
amilo.lesmes@usantoto.edu.co

Juan Pérez Cuervo

Ingeniero Civil. Magister M.Sc.
Universidad Camilo José Celá.
Docente, Universidad Santo Tomás,
juan.perezc@usantoto.edu.co

Daniel Juez Lopez

Ingeniero Agrónomo. Magister M.Sc en Ciencias Ambientales -
Wageningen University And Research Center. Ph.D en Antropogeografía.
Universidad de Munich – Alemania. Docente investigador,
Universidad Santo Tomás,
camilo.lesmes@usantoto.edu.co



Resumen

Para la puesta en marcha de una vía no es sólo necesaria la estructura de pavimento sino, además, la composición urbanística externa que hace parte del entorno, tal como los semáforos, señales de tránsito y las luminarias. Éstas últimas, no sólo, juegan un papel fundamental dentro de los costos energéticos de una vía en funcionamiento, así mismo, la falta de iluminación genera altos índices de accidentalidad en las carreteras del país. Es así que la ejecución de generadores piezoeléctricos como alternativa sostenible energética, concibe grandes discusiones en el ámbito académico. Por eso en el presente artículo de investigación se pretende establecer la factibilidad económica, ambiental y social de instalar tecnología piezoeléctrica en las vías de una ciudad intermedia. Lo anterior, fue realizado mediante un proceso de revisión bibliográfica de la aplicación de esta fuente de energía en otras circunstancias y luego se verificó las condiciones propias de una vía en el municipio de Sogamoso obteniendo favorables escenarios en los ámbitos relacionados, sin embargo, para el caso económico se presenta un alto costo inicialmente compensándose con los impactos positivos en el área ambiental y social de la zona.

Palabras clave: Alternativas energéticas, estructura de pavimento, generadores piezoeléctricos, vías.

Abstract

Key words

Resumo

Palavras chave

JEL: M41, M49.

Para citar este artículo: Juez-López D.D., Lesmes-Fabian C. & Pérez-Cuervo J, "Generadores piezoeléctricos como alternativa energética: Evaluación de Factibilidad en la Implementación en Vías en Ciudades Intermedias" In *L'Esprit Ingénieux*. Vol. 9, p.p 69-82

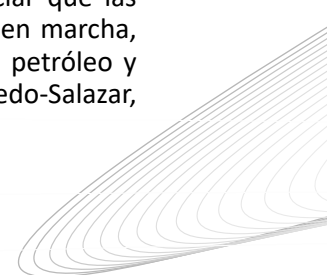
INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los seres humanos dependen cada vez más de la energía eléctrica para desarrollar cualquier actividad en la vida cotidiana (Edenhofer, 2011). Las actividades antrópicas están totalmente ligadas al uso de la energía eléctrica, es por eso que la demanda de combustibles fósiles y de carbón incrementa sin tener en cuenta que resulta ser un tipo de energía costosa en términos monetarios y medioambientales (Sotelo, 2015). Esta ya no es sólo nuestra fuente de iluminación en las noches, sino que pasa a tener un protagonismo para el desarrollo de las nuevas tecnologías (Rodríguez I., 2014). Es así que el petróleo se convirtió en un recurso de dominio estatal, de carácter absolutista en la producción energética actual y uno de los principales aportantes al PIB nacional (Villamil, 2007), sin tener en cuenta las consecuencias de su explotación y el indudable impacto ambiental negativo que produce.

El progreso de la economía mundial se ha desarrollado entorno al uso de los recursos naturales dentro de los que se encuentra el petróleo como figura principal y su transformación en recurso energético juega un rol fundamental y su importancia es base para el crecimiento en industrias actuales (Recalde, 2012). El mundo ha cambiado significativamente en los últimos 20 años y mediante nuevas tecnologías se han modificado el aprovechamiento de los recursos energéticos para generar energía eléctrica; sin embargo, el petróleo sigue siendo el recurso energético más importante del planeta por la gran variedad de productos que se pueden obtener como materia principal (Cortés, Ensaztiga, & Pineda, 2010). Uno de los problemas fundamentales a la hora de conseguir el aprovechamiento energético es disponer de dispositivos que fructifiquen al máximo la configuración de los mismos y permitan su uso como parte activa de fuentes de alimentación (Vázquez, Jiménez, & De Frutos, 2012).

La historia del hombre ha estado enmarcada en la búsqueda permanente de fuentes de energía con el propósito de mejorar las formas de aprovechamiento de los recursos del ambiente (Carvajal & Marín, 2013), es así, que con la Revolución Industrial se impuso una única nueva fuente de energía primaria que hoy domina el panorama (Cunningham, 2003), evidenciando los notables retrocesos en la calidad ambiental y en la generación del calentamiento global, es por eso, que este fenómeno se ha convertido en el gran protagonista en las discusiones actuales de la política medioambiental (Aversano & Temperini, 2006). La energía para el aprovechamiento está disponible de muchas formas como lo son la energía lumínica, eólica, térmica, entre otras. Éstas son estudiadas con el propósito de aumentar su existencia, no empero, hoy por hoy existen otras fuentes de energía que se pueden considerar como alternas y más amigables con el medio ambiente (Pancich, 2016). De esta forma, se han generado modelos energéticos que hacen parte de un proceso evolutivo propio de los recursos, así pues, entre ellos se destacan el agrícola, agrícola avanzado, industrial; no obstante, todos estos están condicionados por sus fuentes de energía (Cunningham, 2003), convirtiéndose en una de las mayores preocupaciones actuales la obtención de energía eléctrica de forma más sostenible. Por lo tanto, se hace necesaria la intervención de la academia para proponer diversas opciones sostenibles al problema de fuentes de energía viables para comunidades de todo tipo, pese a ello la sustitución será difícil y no vendrá de sólo una fuente ya que el desarrollo de energías alternativas generará un gran avance económico en la población (Arancibia, 2008).

La realidad de nuestros ecosistemas ha obligado al ser humano a encontrar fuentes generadoras de energía, en la insaciable búsqueda de disminuir estadísticas en cuanto a la contaminación de los recursos (Montoya, Escobar, & Angulo, 2017). También, se debe propiciar que las nuevas fuentes de energía generen mínimos problemas en cuanto a su puesta en marcha, vida útil y mantenimiento, reduciendo la dependencia de nuestra economía al petróleo y basar la economía en fuentes de energía que sean difícilmente agotables (Oviedo-Salazar, Badii, & Serrato, 2015).



En este sentido, el estudio de estas tecnologías es cada vez más exhaustivo y genera gran expectativa dentro de las industrias, mercados y la población en general. Es así como a través de los años se han formado estrategias de aprovechamiento como la energía eólica producida por las corrientes de aire o la energía solar, todas con el único propósito de transformarse en energía eléctrica, sin embargo, existen sistemas de menor cuantía que tienen la capacidad de generar energía al ser sometidas a un esfuerzo mecánico (Zapata, Zuluaga, & Dyner, 2005). De esta forma dentro de las energías alternativas para la generación de electricidad están los generadores piezoeléctricos, los cuales transforman la energía cinética de las cargas que son aplicados sobre estos en energía eléctrica para uso propio del sistema. Esta tecnología se ha aplicado en baldosas de piso (Zapata & Bustamante, 2012), vías de circulación en edificaciones y hasta ferroviarias. En la actualidad, es importante la creación de proyectos que sean sostenibles y amigables con el medio ambiente teniendo en cuenta la generación de energía, partiendo del hecho que es una pieza importante dentro de la dinámica estatal, de ahí que la utilización de generadores piezoeléctricos como alternativa sostenible energética instaurada en las vías del país es una posibilidad real.

A nivel internacional se han venido desarrollando diferentes proyectos de energía, uno de estos es la implementación de sistemas piezoeléctricos en las vías, con el fin de mejorar la calidad de vida de una comunidad. El proceso de generación de energía mediante estos dispositivos se funda en el principio de sometimiento de una superficie ante una carga, donde el peso y la energía del movimiento del vehículo genera una deflexión despreciable, sin embargo, con el aumento del tráfico y el paso de las ruedas del vehículo se crea una diferencia de potencia (Alonso et al, 2017), la cual se recolecta en un sistema de almacenamiento de energía para posterior distribución en el alumbrado público aprovechando la fuerza que se le imprime al pavimento de acuerdo a la velocidad de tránsito y el flujo vehicular (Ríos & Fernández, 2016).

Es así que el alto tráfico en una ciudad se convierte en una condición a favor que se puede transformar en un bien común, produciendo energía eléctrica la cual puede ser usada en iluminación, semaforización o con el fin de realizar monitoreo del comportamiento de la vía (Cardozo & Tamayo, 2016). No obstante, esta tecnología fue descubierta por los hermanos Curie en 1880 al observar que ciertos materiales cristalinos se polarizaban al estar sometidos a fuerzas mecánicas (Ibáñez, 2012) y desde su descubrimiento se ha estado perfeccionando, tanto en las aplicaciones como en el funcionamiento empezando con materia prima de la naturaleza como el cuarzo o la turmalina y desarrollando nuevos materiales de alta eficiencia como el PZT o el polímero PVDF (Prendes, 2016). De igual modo, este sistema no requiere de cantidades inconmensurables de cargas aplicadas a una superficie, lo demuestra el hecho de que su ejecución se ha efectuado en baldosas para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia (Pérez & Velázquez, 2016; Moreno & Sernaqué, 2015), con resultados de funcionalidad efectivos o en el caso de utilizar la energía cinética usada por el cuerpo humano al caminar (Sepúlveda, 2014). La piezoelectricidad como una fuente de producción de energía eléctrica es limitada en cuanto a la inversión, tiempo e investigación para esta acción (Gutiérrez, 2010), ya que son muy pocos los países que le apuestan a nuevas propuestas y sumado a esto, en nulidad se encuentra el empleo de estos procedimientos a las vías.

Colombia es un país donde más del 70% de la energía eléctrica se produce a partir de hidroeléctricas en el centro del país, propiciando procesos incipientes. Pese a ello se da un avance significativo hacia el 2014 con la Ley 1715, en la que se regula la integración de energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, dando un gran salto al fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías en la producción de energía limpia (Morales & Contreras, 2016).

El país cuenta con extensos y variados recursos en el campo energético, los cuales están directamente relacionados con la economía del país, pese a ello se han generado crisis energéticas que han impactado directamente en la población (Posada & Vargas, 1997). De esta forma en el país se han concebido estudios para diseñar sistemas apropiados con las

necesidades y problemáticas actuales de la población sin aplicaciones aun concretas en todo el territorio nacional (Consortio Energético CORPOEMA, 2010). De esta forma, esta investigación tiene como objetivo establecer la factibilidad técnica, económica y ambiental al implementar el sistema de generación energía eléctrica por generadores piezoeléctricos en una vía de un 1 km de longitud en el departamento de Boyacá.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar la factibilidad de usar generadores piezoeléctricos en una vía, se elaboró una investigación por medio de documentos, textos científicos y resultados obtenidos por la aplicación de esta tecnología en diferentes contextos. Posterior a la recolección de información, se hizo un análisis de ésta para verificar las condiciones sociales, económicas y ambientales de la zona de estudio en el municipio de Sogamoso, Boyacá, buscando determinar un resultado preliminar sobre la viabilidad de la instalación del sistema piezoeléctrico en una vía.

En este estudio se planteó la selección de un perfil transversal de vía, en una de las principales carreteras de salida de la ciudad de Sogamoso, la cual sea capaz de cumplir con los requisitos básicos que solicita esta tecnología con respecto a los volúmenes vehiculares. Posterior a esto, a través de las normas técnicas, ambientales y del Ministerio de Minas y Energía de Colombia se procedió a hacer una evaluación de la factibilidad de la implementación de esta tecnología en la ciudad.

Disposición e instalación

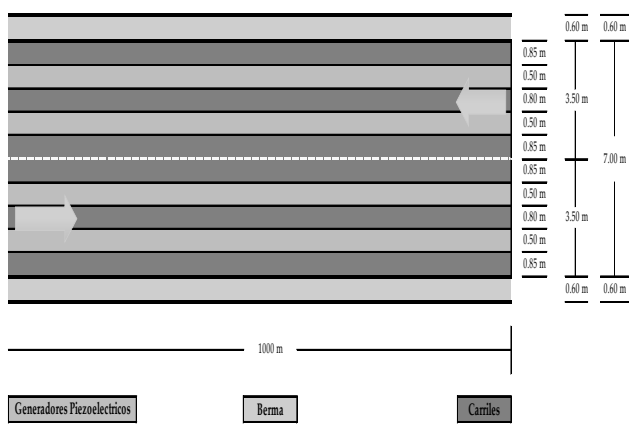


Figura. 1. Disposición de Generadores piezoeléctricos en vía. Fuente: autoría propia

Para la disposición del sistema de generadores piezoeléctricos en las vías (Fig. 1), se han tenido en cuenta diferentes aspectos, entre los cuales se pueden encontrar las distancias de diseño de una vía de un sólo carril en dos direcciones y el espacio determinado estrictamente necesario para la implementación del sistema con el cual se aspira tener un máximo de aprovechamiento de la energía obtenida del paso vehicular.

Por otra parte, la instalación se realiza en la estructura de pavimento rigurosamente debajo de la capa de rodadura aprovechando la deflexión de esta, cada vez que el paso de un vehículo ejerce una fuerza. Para que un generador piezoeléctrico funcione de manera adecuada, debe tener como mínimo una diferencia de potencial generada por un peso externo de 200 Kg de lo cual se concluye que con el paso de un auto sedan común con un peso de 1000 Kg, se activaran los generadores piezoeléctricos de manera óptima sin recibir daño alguno, siempre

y cuando su instalación sea la adecuada; igualmente, para que esta metodología se pueda usar en vías se propone instalar en forma de sándwich entre dos capas de polietileno plástico impermeable, los cuales mantendrán al sistema en un total aislamiento de la intemperie y de daños externos, como se puede ver en la Fig. 2.

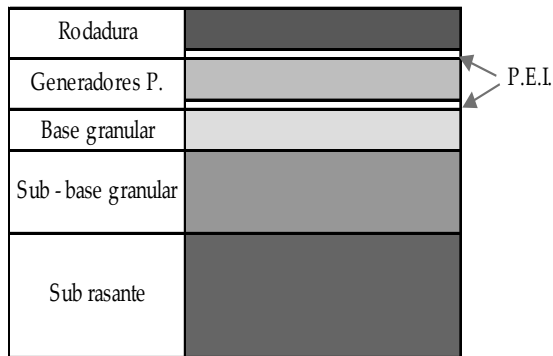


Figura 2. Diseño de Sándwich del sistema de generadores piezoeléctricos.
Fuente: Autoría propia

La Fig. 3 presenta la distribución de los generadores piezoeléctricos en un metro cuadrado de vía, teniendo una cantidad de 225 generadores para un óptimo manejo, ubicados cada uno a 6.25cm del otro de manera equidistante.

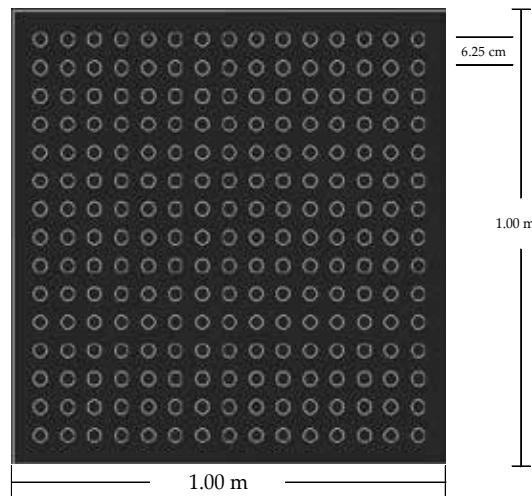


Figura 3. Distribución de generadores piezoeléctricos por metro cuadrado.
Fuente: autoría propia.

RESULTADOS

La Ruta Nacional 62 hace parte del corredor vial nacional que conecta la Costa Caribe con los Llanos Orientales cerca de Yopal, Casanare. Dentro de su recorrido se encuentra el Ramal “62BY05”, designación impuesta por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y denominada comúnmente como “La Ye – Tibasosa – Sogamoso” tal y como se presenta en la Fig. 4, de esta forma, es la ruta designada para hacer el estudio de factibilidad para este caso específico. Esta vía de 13 km es de Primer Orden, hace parte de la Territorial Boyacá, tiene como administrador a la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) y tiene la característica de poseer una calzada sencilla.

En la selección de la vía se tuvo en cuenta el número de ejes equivalentes el cual se define como la cantidad pronosticada de repeticiones del eje de carga equivalente de 8,6 Ton para un periodo determinado, ya que por efectos de cálculo el tránsito es heterogéneo y está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes (Reyes Lizcano, 2003). Este número de eje de equivalentes debe ser superior a 5'000.000 de ejes y después de una proyección de tránsito para la vía La Ye Tibasosa – Sogamoso el resultado es de 5'206.357 ejes equivalentes 8,2 Ton.

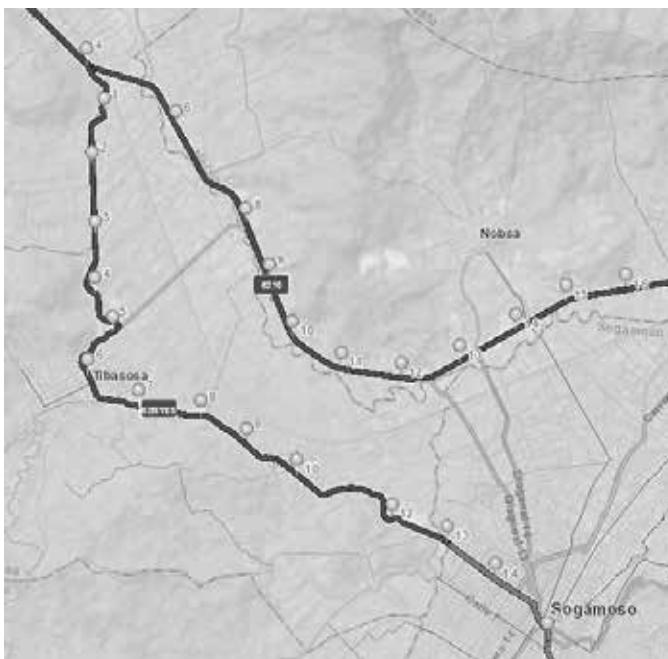


Figura 4. Mapa de carreteras “Vía La Ye Tibasosa – Sogamoso”. Fuente: (INVIAS, 2018)

Análisis económico

Se realizaron dos propuestas, una de estas es con el uso de energía convencional ofreciendo beneficios como el bajo costo inicial, pero con la desventaja del alto costo de mantenimiento. La otra opción, es iluminación de la vía por la transformación de la energía mecánica por el paso de los vehículos en electricidad.

En la primera propuesta, se tuvo en cuenta que el costo del alumbrado público para cada poste en el centro del país es de cerca de los 218.633 COP por mes (EL TIEMPO, 2017) lo cual es un precio elevado. Asimismo, se consideró el diseño de alumbrado público en Colombia por el Reglamento Técnico Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), el cual arroja una cantidad de postes por una distancia determinada estando en un rango entre 50 y 80 postes por Km (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron 65 postes por Km teniendo un espaciamiento de 15 m entre cada uno, garantizando una óptima visibilidad para los conductores y como finalidad se obtiene un costo del gasto energético anual de los 65 postes de 170.533.740 COP. Conjuntamente, se analizó una bombilla promedio que gasta alrededor de 300 Watts/hora, teniendo en cuenta que está encendida un tiempo promedio de 12 horas los 30 días del mes y los 12 meses del año, dando como resultado un gasto de 1.296 KW/Año para cada poste de luz. Es así que, estimando el costo de 1 kilómetro de vía cercano a los 1.000 millones COP, el costo de la energía, mantenimiento y puesta en marcha de las luminarias es de \$ 3.410.674.800 COP, para un total de inversión por el método convencional de 4.410.674.800 COP.

Por otro lado, el sistema de generadores piezoeléctricos en la aplicación vial genera 2.092 KW por cada vehículo, teniendo en cuenta la proyección de tránsito diario el total de vatios generados por un año es de 108900,05 KW; para este cálculo se tuvo en cuenta que el promedio de ancho de una rueda de un vehículo no ocupa el total de franja de la banda piezoeléctrica instalada, por lo que se aplica un factor de reducción de 0.40, por otra parte, según Esteban Orozco Mg. Ingeniera mecánica en estos procesos en los que hay obtención de energía y almacenamiento de la misma se llega a perder en el proceso alrededor del 50 % de la energía aplicando un factor reductor de 0.50 en esta misma cantidad.

Tabla 1. Comparación de generadores piezoeléctricos

No.	Nombre	Tamaño [mm]	Voltaje generado * 9 Unid [Vol.]	Empresa	Precio [Unidad]	Lugar
1	Discos P. con cables Mic	27	15	Vktech	\$ 5.000	Bogotá
2	Discos P. con cables Mic y Gatillos	12	10	EBay/Yaxa	\$ 3.300	Bogotá
3	Discos P. Cerámica	27	15	-	\$ 1.900	Valledupar
4	Discos P. Sin cables	41	20	-	\$ 4.900	Valledupar
5	Discos P. Goedrum con cable y gatillo	25	30	Mocleton	\$ 18.800	Barranquilla
6	Discos P. Doble Cable	35	30	Ali-Express	\$ 22.000	EEUU

Fuente: Autoría propia

Las propiedades y características de estos varían según el fabricante y el proceso de elaboración que traiga consigo, por lo cual se presenta una comparación de costo para la adquisición de diferentes generadores piezoeléctricos en distintos lugares del territorio nacional y en USA. Dicho esto, se seleccionó la opción No. 1 (Tabla 1) ya que es un dispositivo común, de fácil instalación y utilización en campo dado que incluye dentro del montaje del dispositivo el cable de transmisión de energía, teniendo este un tamaño aproximado de 3 cm de diámetro, un valor por unidad de 5.000 COP y un voltaje generado de 15 V por cada 9 unidades. Además, tiene la ventaja que la adquisición se hace desde la capital colombiana, lo cual facilita su transporte y beneficiaría económicamente el proyecto.

A la par se realizó el diseño de la vía con las franjas de generadores piezoeléctricos, la cual tiene la desventaja del alto costo inicial siendo este de 3.250 millones COP, pero una gran y notoria ventaja y es que no tiene costo energético, a este se le suma un 20 % por mantenimiento para un total de 3.700 millones COP.

De acuerdo al análisis de costos para el perfil vial, se tiene que el impacto económico en la vía seleccionada es desfavorable para el entorno ya que los costos de inversión inicial para la implementación de los generadores piezoeléctricos son altos siendo esta alternativa, alrededor de 3.5 veces más alto que el de las estructuras convencionales, sin embargo, estos costos se ven compensados con el bajo mantenimiento que requiere el sistema de piezoeléctricos, por lo tanto, el proyecto a largo plazo es una elección viable para contribuir con el desarrollo vial del país.

Análisis ambiental

En la Universidad Católica de Colombia, por (Tamayo & Cardozo, 2017) se hizo una matriz de análisis ambiental con el fin de considerar los impactos ambientales a los que está expuesto el perfil de vía que se optó para ese momento y tomando como antecedente este caso, se realizó el mismo procedimiento para “La Ye Tibasosa – Sogamoso”. Siendo esta una vía de carácter primario en el entorno colombiano presenta impactos poco favorables en ítems específicos como lo son: la contaminación procedente por el tránsito diario (CO2 producido), además de una baja calidad del alumbrado público en dicho perfil vial siendo un impacto negativo, lo cual crea un riesgo alto para seguridad vial.

Por último, se tiene la afectación en el pavimento como, desgastes en la capa de rodadura y en el pavimento en general además de ahuellamientos generados por la alta afluencia vehicular de tráfico pesado. Por medio del análisis hecho a través de la matriz (Fig. 5) se puede establecer que la contaminación por CO2 es un hecho determinante para establecer el impacto ambiental y por tal razón se debe hallar el valor de dióxido de carbono que se puede evitar emitir generando electricidad a partir de esta alternativa. A través de la cantidad de CO2 que se emite con los métodos tradicionales de generación de electricidad en el país y desde la Unidad de Planeación Minero-Energética se determinó que el factor de emisión de CO2 por KWh producido en el sistema eléctrico interconectado colombiano es de 0.2849 kg de CO2 por KWh producido (UPME, 2009). De esta forma se debe aplicar la ecuación (1) para calcular el ahorro en emisiones de dióxido de carbono.

$$A_{E_{CO_2}} = E_{KWh} \times 0,2849 \text{ kg } CO_2 \quad (1) \text{ (Agatón, 2010)}$$

Donde $A_{(E_{CO_2})}$ es el ahorro en emisiones de CO3 generado por la implementación de los piezoeléctricos en la vía E_{KW} hes, la cantidad total de energía eléctrica que produce el sistema durante su periodo útil el cual es de 300 KWh (Castro, 2011), en donde al realizar el cálculo se obtiene que

$$A_{E_{CO_2}} = 85.47 \text{ kg } CO_2$$

Esto significa que con el ahorro en emisiones de CO2 el proyecto es factible ambientalmente a causa de ser un elemento fundamental en la mitigación de emisiones atmosféricas, tema que es imprescindible en la zona de estudio por los antecedentes de contaminación (Rodríguez H., 2005).

Aspecto	Componente	Elemento Imapctado	Actividad Impacto	Sistemas de distribución				Generación de energía				Tráfico				Seguridad vial				Calidad del pavimento							
				EX	MA	DU	TI	CA	I	EX	MA	DU	TI	CA	I	EX	MA	DU	TI	CA	I	EX	MA	DU	TI	CA	I
FÍSICO	Calidad del aire	Cantidad de CO2	Generación de energía	4	4	8	8	-1	-24	1	4	4	1	-1	-10	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	4
	Emisión de Gases	Contaminación	Trafico Diario	1	4	4	1	-1	-10	4	4	8	1	-1	-17	4	8	8	8	-1	-28	1	1	1	1	1	4
SEGURIDAD VIAL	Rugosidad del pavimento	Continuidad en la estructura del pavimento	Transitividad	1	1	1	1	1	4	4	8	8	1	1	21	4	4	8	8	-1	-24	4	4	8	8	1	24
	Alumbrado público	Movilidad	Calidad en el alumbrado	4	8	8	8	1	28	4	1	4	1	1	10	4	8	8	4	-1	-24	4	4	4	8	-1	-20
SOCIO ECONOMICO	Infraestructura de servicios	Generación de energía	Energias renovables	4	4	4	8	1	20	4	8	4	1	1	17	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	4
	Circulación vehicular y peatonal	Tráfico	Afluencia de vehiculos en perfil vial	4	4	8	8	1	24	8	8	8	1	1	25	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	4

EXTENSIÓN	MAGNITU	DURACIÓ	TIPO (TD)	CARÁCTER	POSIT	RANG	NEGATI	RANG
PUNTU 1	BAJA 1	CORT 1	INDIRE 1	BENEFI +	Ireleva	4 11	Irrelevan	4 11
LOCAL 4	MEDIA 4	MEDIA 4	DIRECT 8	PERJUD -	Signific	12 19	Moderad	12 19
REGION 8	ALTA 8	PERM 8			Import	20 27	Severo	20 27
					Muy	28 32	Crítico	28 32

Figura 5. Matriz de análisis ambiental. Fuente: (Tamayo & Cardozo, 2017) y Autor
 Convenciones: EX: Extensión; MA: Magnitud; DU: Duración; TI: Tipo; CA: Carácter; I: Impacto.

Análisis social

De la Fig. 6, se establece que para el departamento de Boyacá los usuarios de energía eléctrica no superan los 400.000 frente a un índice de cobertura de energía eléctrica de cerca del 95 %, lo cual supone que existe falencia entre la cantidad de beneficiarios y las posibilidades existentes para brindar el servicio, por lo que la generación de energía por piezoeléctricos es una alternativa socialmente sustentable. También es importante resaltar que del 100 % de luminarias que existen como alumbrado público en la ciudad, el 82 % son de sodio y el 18 % de mercurio, sin embargo, en la zona rural las luminarias son muy bajas en cuanto a cantidad.

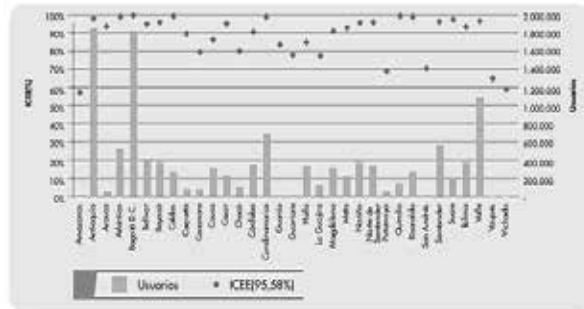


Figura 6. Índice de cobertura de energía eléctrica por departamento en Colombia.
Fuente: (MinMinas, 2013)

Las condiciones de iluminación deficiente es un factor que genera gran impacto a la hora de accidentes de tránsito tal y como se contrasta en la Tabla 2, donde para la ciudad de Sogamoso las muertes por este inconveniente son altos y pueden ser provocados por la mala iluminación de las vías en la noche, por eso mismo es fundamental el buen funcionamiento y mantenimiento de las luminarias, en caso contrario puede resultar peligroso (Instituto MAPFRE de Seguridad vial, 2003).

Tabla 2. Comportamiento de los delitos de impacto que afectan la seguridad vial en el municipio de Sogamoso

Delitos de impacto que afectan la seguridad vial		2008	2009	2010	2011	Total
Muertes en accidente de tránsito	Homicidios	12	15	7	6	40
	Muertes	1	2	5	2	10
Lesiones en accidentes de tránsito		100	129	154	149	532

Fuente: (Alcaldía de Sogamoso, 2012)

De acuerdo al análisis planteado para la posible población de aplicación de los piezoeléctricos, se pudo establecer que el municipio de Sogamoso hace parte de “El Corredor Industrial de Boyacá” y su economía se basa en la industria siderúrgica y de producción de materiales de construcción, por lo cual la infraestructura vial se ve directamente afectada por el alto flujo de automotores y consigo, la calidad de vida de las personas que viven en cercanía de la vía en cuestión se ve notoriamente afectada. No obstante, el ahorro energético del cual se ve beneficiada la población es una necesidad económica y ecológica donde se evita el despilfarro y los rendimientos de producción de energía son mucho más altos, pero existe una deficiente

aceptación social de las nuevas tecnologías energéticas lo cual produce un rechazo a éstas y mayor tolerancia para las no renovables.

Dentro de la estimación de impactos sociales en la aplicación de generadores piezoeléctricos se determinó que durante el tiempo destinado a su instalación se genera conmoción sobre el tráfico en esta zona de la ciudad, porque se deben realizar intervenciones sobre la carpeta asfáltica existente. Sin embargo, esta incomodidad es un proceso normal dentro de la pavimentación de vías, lo cual no supone un impacto social considerable para este estudio en particular.

Asimismo, se pueden mencionar múltiples beneficios en la implementación de esta alternativa como la creación de empleos de carácter regional, mejorar la salud de la comunidad aledaña a la vía, teniendo en cuenta que la ciudad de Sogamoso ha tenido altos niveles de contaminación del aire por material particulado (Valencia, 2010). Además, se podría suponer la aplicación de generadores piezoeléctricos en otros ámbitos mejorando así la calidad de vida de una población al tener acceso a la electricidad haciendo un esfuerzo en la superación técnica y profesional debido al grado de especialización que se requiere para la instalación de los dispositivos en la vía, lo cual supone mayor participación ciudadana. Otra de las grandes ventajas con la que cuenta esta tecnología, es que se puede implementar en cualquier zona siempre que esta cumpla con unos requisitos mínimos de tráfico de vehículos, sin que sea limitada por el clima o la zona geográfica (Cardozo & Tamayo, 2016).

DISCUSIÓN

Una evaluación tecnológica muestra la viabilidad de una tecnología en particular, proporcionando información de la investigación y desarrollo de ésta, así, ser fuente de fundamentos claros para la toma de decisiones, en cuanto al impacto social y económico, de esta manera con la energía piezoeléctrica se inicia un nuevo ciclo de generación de energía, el cual, aprovechara una fuente hasta ahora desperdiciada. El sistema convierte la energía mecánica a eléctrica después de ser almacenada, debido a lo anterior se genera electricidad siendo esta una solución energética para el país y no utilizará ningún espacio público adicional, ya que se integra a la infraestructura reduciendo la posibilidad de robos o daños en el sistema implementado.

Con base en los análisis hechos a partir de los dos sistemas de producción de energía, el convencional y por generadores piezoeléctricos, se determina que este último sobresale, ya que se estima que los costos de sostenimiento son menores, la recuperación de la inversión es alta y el mantenimiento del sistema se realiza cada 30 años por cuestiones de proyección de la vida útil de los generadores. No obstante, el costo de implementación es una gran desventaja frente a las demás tecnologías de producción de energía renovable.

En cuanto a la preocupación de la inestabilidad de la estructura de pavimento, ésta no se verá afectada debido a que el sistema es alterno y no influye dentro de los materiales propios de la estructura granular. Hay que mencionar que, influye en gran medida a reducir la producción incesante de dióxido de carbono y de esta manera ayudar a reducir el cambio climático propiciando el ineficiente uso de recursos naturales para la producción de energía.

CONCLUSIONES

La aplicación de generadores piezoeléctricos en vías colombianas es una técnica factible, eficiente y amigable con el ambiente y el entorno, altamente onerosa en su inversión, pero con posibilidades de recuperación de su costo inicial. El proyecto tiene múltiples ventajas en

el ámbito ambiental y social, las cuales presentan beneficios en la parte inicial del proyecto y de esta manera contribuyen a la aceptación del mismo, en cuanto al ámbito económico, este último requiere de un proceso temporal del 85 % de la vida útil del proyecto para obtener beneficios por lo tanto el proyecto sería factible teniéndolo en cuenta para todo el lapso de tiempo de su vida útil.

Con base a la revisión bibliográfica se logró determinar que, dentro de los factores esenciales para el buen funcionamiento de la tecnología, se encuentra el alto tránsito de vehículos pesados complementado con un volumen mixto vehicular, capaz de garantizar un paso constante por el punto donde han sido instalados los piezoeléctricos y con ello la generación de energía mecánica que posteriormente será energía eléctrica.

Dentro de los factores de riesgo de accidentabilidad en una vía se relaciona la iluminación inapropiada. En este caso, la producción alterna de energía para uso eléctrico en las luminarias de las vías se convierte en una posibilidad tangible y apropiada para aplicar y hacer que los índices de mortalidad por esta causa disminuyan considerablemente.

REFERENCIAS

Agatón, F. (2010). Análisis de la factibilidad económica y ambiental de utilizar baldosas piezoeléctricas en el campus de la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG).

Alcaldía de Sogamoso. (2012). Plan de desarrollo municipal 2012-2015. Sogamoso, Colombia. Recuperado el 20 de junio de 2018

Alonso, A., Blanco, E., Del Castillo, G., Castro, D., Real, C., & Sainz de Aja Goya, J. (2017). Dispositivo reductor de velocidad aplicable a vías de circulación. Solicitud de patente, Oficina española de patentes y marcas, Asturias.

Arancibia, M. (24 de Julio de 2008). El uso de los sistemas de información geográfica -SIG- en la planificación estratégica de los recursos energéticos. Polis Revista Latinoamericana, 20, 1-11. Obtenido de <http://polis.revues.org/3516>

Aversano, N., & Temperini, T. (2006). El Calentamiento Global: Bonos de Carbono, una alternativa. Buenos Aires.

Cardozo, N., & Tamayo, D. (2016). El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá. (U. C. Colombia, Ed.)

Carvajal, S., & Marín, J. (enero - marzo de 2013). Impacto de la generación distribuida en el sistema eléctrico de potencia co-

lombiano: un enfoque dinámico. Tecnura, 17(35), 77-89.

Castro, A. (2011). Consumirá la mitad de energía el alumbrado público con la tecnología LED. LA NACIÓN.

Consorcio Energético CORPOEMA. (2010). Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE). Unidad de Planeación Minero Energético, Bogotá.

Cortés, A., Ensaztiga, E., & Pineda, M. (2010). Propuesta de diseño de un piso generador de energía eléctrica. Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México, D.F.

Cunningham, R. (2003). La energía, historia de sus fuentes y transformación. Revista Petrotecnia, 53-60.

Edenhofer, O. (2011). Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico, Instituto de Investigación sobre el Impacto del Clima de Potsdam (PIK), Grupo de trabajo III del IPCC, Potsdam.

EL TIEMPO. (2017). Costos de alumbrado público en Colombia. EL TIEMPO.

- Furió, C., Carrascosa, J., Gil, D., & Vilches, A. (s.f.). ¿Qué problemas plantean la obtención y el consumo de recursos energéticos? En *¿Cómo poner en práctica el modelo de aprendizaje como investigación?* (págs. 219-242).
- Gutiérrez, F. (Marzo de 2010). Principios de Piezoelectricidad. Innovación y experiencias educativas(28).
- Ibáñez, J. (2012). E-STEP: Diseño de un prototipo para generación energética mediante tecnología piezoeléctrica. Aplicación a escaleras. Tesis de Pregrado, Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàtica de Terrassa, Barcelona.
- Instituto MAPFRE de Seguridad vial. (2003). Identificación de problemas de seguridad vial en travesías. Madrid, España: Editorial MAPFRE, S.A. Recuperado el 20 de Junio de 2018
- MinMinas. (2013). Energía Eléctrica. Memorias al Congreso de la República, Ministerio de Minas y Energía, Bogotá, D.C. Recuperado el 18 de Junio de 2018, de <https://www.minminas.gov.co>
- Montoya, Y., Escobar, L., & Angulo, G. (Junio de 2017). Generación de energía eléctrica mediante el uso de material piezoeléctrico 2010 - 2017. Boletín tecnológico, Universidad del Magdalena. doi:10.13140/RG.2.2.23059.37926
- Morales, A., & Contreras, J. (2016). Análisis de conveniencia de la implementación de la energía piezoeléctrica en las salas de Cine Colombia en la ciudad de Bogotá D.C. Tesis de pregrado, Universidad Distrito Francisco José de Caldas, Facultad del medio ambiente y recursos naturales, Bogotá D.C.
- Moreno, J., & Sernaqué, J. (2015). Diseño de baldosas con generadores piezoeléctricos para la iluminación del pórtico de la Universidad Señor de Sipán. Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán, Escuela académica profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Pimentel, Perú.
- Oviedo-Salazar, J., Badii, A. G., & Serrato, O. L. (Abril de 2015). Historia y usos de energías renovables. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 10(1), 1-18.
- Pancich, A. (2016). Microgenerador de energía a partir de materiales piezoeléctricos. Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional, Ingeniería en comunicaciones y electrónica, México D.F.
- Pérez, E., & Velázquez, S. (2016). Diseño e implementación de un generador piezoeléctrico baldosa, para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia. Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica, México, CD. de México.
- Posada, L., & Vargas, E. (1997). Desarrollo económico sostenible, relaciones económicas internacionales y recursos minero-energéticos en Colombia. Tesis de maestría, Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Humanas, Medellín.
- Posso, F. (2004). Estudio del desarrollo de las energías alternativas en Venezuela. *Revista Anales de la Universidad Metropolitana*, 4(1), 147-164.
- Prendes, M. (2016). Generación de energía mediante piezoeléctricos en vías ferroviarias. Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.
- Recalde, M. (Julio-septiembre de 2012). Los recursos energéticos en Argentina: Análisis de la renta. *Revista Problemas del Desarrollo*, 170(43), 9-37.
- Ríos, F., & 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. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana Cali, Facultad de Ingeniería, Santiago de Cali.
- Rodríguez, H. (20 de Junio de 2005). Sogamoso reclama un aire más puro. *EL TIEMPO*. Recuperado el 20 de Junio de 2018
- Rodríguez, I. (2014). Extracción de energía del agua mediante generadores piezoeléctricos. Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de sistemas energéticos, Madrid, España.

Sepúlveda, E. (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. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Mecánica, Medellín.

Sotelo, J. (2015). Visión de la aplicación de los sistemas piezoeléctricos para la generación de energía eléctrica a partir del viento en edificios. Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Catalunya, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Barcelona.

Tamayo, D., & Cardozo, N. (2017). El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá, D.C. Recuperado el 19 de Junio de 2018

Tena, K. (2017). Implementación de sensores piezoeléctricos para la generación eléctrica bajo calzada: aplicaciones en el Aeropuerto de Barcelona. Tesis de pregrado, Universidad Politècnica de Catalunya, Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels, Catalunya.

UPME. (2009). Cálculo del factor de emisión de CO2 del sistema eléctrico interconectado colombiano. Technical report, Unidad de Planeación Minero Energética. Recuperado el 20 de Junio de 2018

Valencia, A. (2010). Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Bogotá, D.C. Recuperado el 20 de Junio de 2018

Vázquez, M., Jiménez, J., & De Frutos, J. (Enero - Febrero de 2012). Modelización

de materiales piezoeléctricos como generadores de energía. Boletín de la sociedad española de Cerámica y Vidrio, 51(1), 25-36. doi:10.3989/cyv.052012

Villamil, J. (2007). Aproximación a los recursos mineros energéticos nacionales y el capital extranjero en Colombia. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, 10(3), 4-21.

Zapata, C. M., Zuluaga, M. M., & Dyner, I. (Diciembre de 2005). Fuentes alternativas de generación de energía, incentivos y mandatos regulatorios: Una aproximación teórica al caso colombiano. (U. N. Colombia, Ed.) Energética(34), 55-63. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=147019373007>

Zapata, D., & Bustamante, G. (2012). Análisis de viabilidad para desarrollo de prototipo de acero que produce electricidad. Tesis de pregrado, Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingeniería, Medellín.

Cardozo, N., & Tamayo, D. (2016). El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá. (U. C. Colombia, Ed.)

Castro, A. (2011). Consumirá la mitad de energía el alumbrado público con la tecnología LED. LA NACIÓN.

Instituto MAPFRE de Seguridad vial. (2003). Identificación de problemas de seguridad vial en travesías. Madrid, España: Editorial MAPFRE, S.A. Recuperado el 20 de Junio de 2018

INVIAS. (21 de Julio de 2018). Mapa de Carreteras. Obtenido de <https://hermes.invias.gov.co/carreteras/>

MinMinas. (2013). Energía Eléctrica. Memorias al Congreso de la República, Ministerio de Minas y Energía.