

Estudio de factibilidad de un colector de energía piezoeléctrico aprovechando la circulación de personal en la entrada de la UFPSO

Feasibility study of piezoelectric energy collector using the transit of people at the entrance of the UFPSO

Esp. Juan Fernando Pérez Villegas¹, Ing. Albert Arley González Pino², Ing. Dayana Liceth Domínguez Chinchilla³

¹ Universidad Francisco De Paula Santander - Ocaña, Colombia, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1333-024X>, Email: jfperezv@ufps.edu.co

² Universidad Francisco De Paula Santander - Ocaña, Colombia, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3591-9514>, Email: aagonzalesp@ufps.edu.co

³ Universidad Francisco De Paula Santander - Ocaña, Colombia, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6314-6694>, Email: dldominguezc@ufps.edu.co

Cómo citar: J. F. Pérez-Villegas, A. A. González-Pino y D. L. Domínguez-Chinchilla, "Estudio de factibilidad de un colector de energía piezoeléctrico aprovechando la circulación de personal en la entrada de la UFPSO", *Revista Ingenio*, vol. 15, n°1, pp.16-22, 2018, doi: <https://orcid.org/10.22463/2011642x.3033>.

Fecha de recibido: 31 de mayo de 2018
Fecha aprobación: 30 de octubre de 2018

RESUMEN

Palabras claves:

Cerámica, Estudio de Factibilidad, Piezoeléctrico, Reductor de Velocidad, Tecnología Limpia.

Encaminados a la aplicación de Energías Limpias dentro de la Universidad Francisco De Paula Santander seccional Ocaña y beneficiándose del tránsito de personas y vehículos en las instalaciones, se realiza el estudio de factibilidad para la implementación de cerámicas y reductores de velocidad conformados con material piezoeléctrico. Se indaga sobre el costo del funcionamiento de estos elementos en distintos sectores industriales, los diferentes proveedores de estos elementos y la posibilidad de construirlo con recursos propios. Seguido a esto, se comparan los costos de adquisición de la cerámica y los reductores de velocidad con los gastos generados por el consumo de energía eléctrica utilizada por parte de la institución. Al final, los análisis realizados resaltan la disminución en la facturación del servicio de energía eléctrica utilizado por una cantidad considerable de luminarias dentro de las instalaciones de la universidad, señalando la viabilidad de la ejecución del proyecto.

ABSTRACT

Key words:

Ceramics, Feasibility Study, Piezoelectric, Speed Reducer, Clean Technology.

Aimed at the application of Clean Energies within of University Francisco De Paula Santander Ocaña sectional, and taking advantage of the transit of people and vehicles in the facilities, the feasibility study is carried out to implementation of Ceramics and Speed Reducers made of piezoelectric material. The cost of operating these elements in different industrial sectors is researched, the different supplies of these elements and the possibility of making it with own resources. Then, the ceramic and speed reducer acquisition costs with the expenses generated by the consumption of electrical energy used by the institution are compared. Finally, the analysis carried out shows a decrease in the billing of electric power service used by a considerable number of luminaires in the university facilities, pointing out the viability of the project execution.

1. Introducción

A nivel mundial se han desarrollado distintos proyectos evaluando formas de producción de energía, entre las cuales se encuentran las energías renovables no convencionales, por medio de tecnologías limpias, dentro de los cuales se puede mencionar el uso de sistemas piezoeléctricos en las vías, con el cual se puede aportar al cuidado del medio ambiente, y a su vez, optimizando la calidad de vida de las sociedades. [1]

En algunos países, se ha llevado a cabo la implementación de sistemas con sensores piezoeléctricos en diferentes lugares del sector público, es decir, en zonas con gran afluencia de personas con las que se soporta la cantidad de energía necesaria para el alumbrado público de un sector determinado, con la intención de mejorar la calidad ambiental y conservar los recursos renovables existentes. [2]

En este proyecto de investigación se realiza un análisis de costos para determinar la factibilidad en el empleo de un sistema piezoeléctrico en la entrada de la universidad Francisco De Paula Santander seccional Ocaña (UFPSO).

Con el propósito de brindar una respuesta a la pregunta de investigación, se ha realizado una búsqueda de información del sistema de sensores piezoeléctricos, sus análisis respectivos y característicos, así como los impactos ambientales y beneficios, además de los análisis técnicos y económicos basados en la ejecución de los sistemas piezoeléctricos en experiencias internacionales.

Una vez fue analizada la información recolectada, se obtienen datos relevantes que permiten determinar la zona en la cual se puede implementar este tipo de tecnología en la UFPSO. Después de esta búsqueda se realizó un aforo

Autor para correspondencia

Correo electrónico: jfperezv@ufps.edu.co (Esp. Juan Fernando Pérez Villegas)

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
Artículo bajo la licencia CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>)



vehicular y peatonal para estimar el promedio de vehículos y personas que transitaban por la entrada de la universidad.

Luego de seleccionar el lugar, se realizó una comparación de costos del modelo actual de uso de energía y del modelo de generación de energía que puede ser aprovechado por medio de las cerámicas piezoeléctricas y reductores de velocidad, encontrando que, la UFPSO disminuirá su pago de consumo energético en un 66,9%. El tiempo de recuperación de la inversión sería de 4 años, ya en este año donde se logra recuperar totalmente el dinero de la inversión y adicional a esto recibe un ingreso o ahorro por la implementación de este proyecto, esto ratifica que este proyecto es sostenible financieramente y trae beneficios económicos.

2. Estado del Arte

El efecto piezoeléctrico tuvo su primera demostración en el año 1880 por los hermanos Pierre Curie y Jacques Curies quienes decidieron combinar sus conocimientos en relación a la piezoelectricidad y las estructuras cristalinas, y esto llevó a dar origen a los piezoeléctricos como una propiedad para poder predecir cómo es el comportamiento del cristal, y lograron demostrar el efecto utilizando varios tipos de cristales como: cristales de turmalina, topacio, caña de azúcar, cuarzo y sal de Rochelle. [3]

Según Lamuta et al. [4] hasta el 2016 se han empleado los materiales piezoeléctricos en el desarrollo de dispositivos electromecánicos y biomédicos, generando un impacto tecnológico.

Gran Bretaña e Israel hacen parte de los países que tienen empresas promotoras de la energía piezoeléctrica como opción verde de generación de energía.

El proyecto británico construye las losas piezoeléctricas con más del 80% de los materiales reciclables, además de ser resistentes a ambientes extremos donde se presenta gran cantidad de peatones, también son altamente resistentes al agua, esto hace que sea viable su uso en exteriores e interiores.

Por otro lado, el proyecto israelí se fundamenta en la generación de energía mecánica de calles, autopistas y vías férreas por medio de generadores piezoeléctricos, además se han enfocado en ingeniar sistemas eficientes para el almacenamiento de la electricidad producida por los generadores. [4]

En una investigación desarrollada por la universidad Khalifa en Emiratos Arabes Unidos y en la universidad de Manitoba Canadá, se diseñó un sistema de suspensión tomando como referencia un transductor piezoeléctrico en

la recolección de energía generada por la aspereza de la carretera, demostrando que el dispositivo con unas medidas de 1,5cm x m 10 cm logró generar una potencia de 738 Watts. [5]

El desarrollo permanente de los sensores piezoeléctricos ha llevado a un gran mercado de productos que van desde un uso cotidiano hasta los dispositivos más avanzados o especializados, en los ámbitos que se pueden implementar estos sensores se encuentran la industria Automotriz, Computo, Consumidora, Ámbito Médico y área Militar. [6]

3. Metodología

El método cuantitativo disponible para medir las presiones lo contribuye un sistema de sensores que permite registrar las presiones que se produce al unirse el pie y el calzado, este sensor se distribuye en una plantilla y permite un seguimiento continuo de la interacción del pie que tiene el sujeto con el suelo sin tener en cuenta las restricciones que se puedan presentar en la movilidad del espacio que se presenta en la plataforma. [7]

Se determinó que las baldosas piezoeléctricas son completamente factibles ambientalmente, debido a los materiales utilizados para su elaboración y por estar catalogada como una fuente limpia de generación de electricidad, además el uso de estas baldosas ayuda a mitigar el impacto producido por las emisiones de CO₂ que se presenta en la generación de energía tradicional. [8]

3.1 Construcción de la cerámica

La entrada de la UFPSO cuenta con dos senderos peatonales, debido a esto se tienen en cuenta dos tipos de medidas de cerámicas que se ajustaron al proyecto de acuerdo con sus características.

La cerámica número 1 cuenta con medidas de 45x60 centímetros, dicha medida de cerámica fue usada en Londres, con el fin de obtener energía de los 40 millones de peatones que circulaban por el exterior del Westfield Stratford City, cercano al estadio Olímpico de Londres, ya que se generarían cientos de kilovatios por hora de electricidad que permitiría encender la mitad de la iluminación exterior del centro comercial. [9]

Por cada paso peatonal existente en la entrada a la institución se toma un área de 2 metros de ancho por 1 metro de largo, donde se podrá colocar la cerámica piezoeléctrica, esto da como resultado un área de 2m². Para calcular cuantas cerámicas se deben usar para el área de 2m², se utiliza la Ecuación (1), en donde se dividió el área que se desea cubrir con la cerámica entre el área de la cerámica.

$$C = \frac{A}{a} \quad (1)$$

Donde, C: Cantidad de cerámicas, A: Área de interés, a: Área de la cerámica

$$C = \frac{A}{a} = \frac{2m^2}{(0.45m)(0.6m)} = 7.4 \text{ cerámicas}$$

El resultado se aproxima a un valor promedio de 8 cerámicas porque según la Norma y Costos de Construcción (Plazola) [10] se debe tener en cuenta un porcentaje de desperdicio en el momento de colocar la cerámica en el área que se desea cubrir. (Ver Tabla 1).

Si es tomado en cuenta el porcentaje de desperdicio para las cerámicas propuesto por Plazola entonces se tendría en cuenta la ecuación (2), la cual plantea que:

$$CR = (C) * (d) \quad (2)$$

Donde, CR: Cantidad Real de cerámicas, C: Cantidad de cerámicas, D: Desperdicio

$$CR = (C)(d) = (8) * (1.05) = 8.4 \text{ cerámicas}$$

Tabla 1. Porcentaje de desperdicio en una construcción.

Concepto	% Desperdicio
Cemento	5
Arena	30
Grava	15
Agua	30
Concreto para fundiciones	5
Concreto para columnas y muros	4
Concreto para losas	3
Concreto para vigas intermedias	5
Mortero para juntas	30
Mortero par acabados	7
Mortero para pisos	10
Estribos	2
Bloques	7
Ladrillos	5
Cerámica	5
Azulejo	5
Formaletas	20
Andamios	5

Normas y Costos de Construcción (Plazola) Costo y tiempo en edificación [10]

El resultado es aproximado a un valor promedio de 9 cerámicas. En ese sentido, se necesitan 9 cerámicas piezoeléctricas con unas medidas de 45x60 cm para cubrir un área de 2m², por ende, se necesitan 18 cerámicas

piezoeléctricas con las medidas anteriormente mencionadas.

Las medidas de la cerámica número 2, fueron tomadas como referencia de un proyecto de grado realizado por el estudiante Javier Ibáñez de la Universidad Politécnica de Catalunya. Las medidas de esta cerámica son 30x20 cm. [11]

Se usan los pasos de la cerámica número 1 teniendo en cuenta que se desea cubrir la misma área. De allí que, se necesitan 36 cerámicas piezoeléctricas con medidas de 30x20 cm. Por ende, si se desea cubrir los dos pasos peatonales con la misma área que es lo ideal, se necesitan 72 cerámicas piezoeléctricas con medidas mencionadas.

La cerámica número 3 está relacionada con la ofrecida por la empresa británica Pavegen, la cual es una empresa fundada en 2009, es el líder mundial en la recolección de energía y datos de pasos. La visión de la empresa es crear entornos construidos más inteligentes y sostenibles que empoderen y conecten a todas las personas. [12]

Cada cerámica de la empresa Pavegen tiene un valor comercial de 3850 (USD), sin contar los gastos de envío, instalación e impuestos, pero por ser un proyecto de energías alternativas estos gastos pueden ser omitidos.

Tabla 2. Precio de la cerámica piezoeléctrica ofrecida por la empresa Pavegen. [13]

Área en m ²	Cantidad de Cerámicas	Precio USD	Precio unitario COP	Total COP
4	16	3850	10'748.738	171'979.808

COP: código ISO. Signo representativo del peso colombiano. USD: código ISO 4217. Dólar estadounidense.

Para el día 7 de abril del 2018, el precio del dólar americano es de 2791,88 \$ COP. El valor comercial de una baldosa piezoeléctrica de la empresa Pavegen con medidas de 0.5x 0.5 m (0.25 m²) es 10'748.738 \$ COP.

Para cubrir un área de 4m² se necesitan 16 cerámicas piezoeléctricas que cubrirían las dos entradas de la UFPSO. La relación de los precios y la cerámica se muestra en la Tabla 2.

Para la instalación y mantenimiento de la cerámica piezoeléctrica por la vida útil de la misma, tiene un costo de 1000 USD, para este caso se necesitarán 16 cerámicas entonces el costo del mantenimiento será de 16.000 USD, cuya vida útil es de 9 años. [13]

En el tránsito de automóviles y motocicletas, se tiene una entrada con un ancho aproximado de 8 metros, para la

cual se disponen de reductores de velocidad con sensores piezoeléctricos en lugar de la cerámica piezoeléctrica, debido al daño potencial que pueden sufrir las cerámicas, a causa del paso de los vehículos.

Por otro lado, el aforo vehicular se dicta que el tránsito de vehículos y motocicletas es constante, por ende, sería ideal hacer uso de los reductores de velocidad en los sectores señalados en la Figura 1.

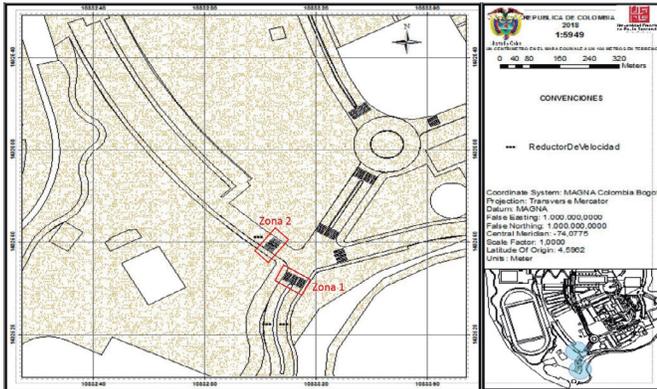


Figura 1. Zonas ideales para la instalación de reductores de velocidad. (señaladas en rojo).

Conociendo que la empresa israelí Innowattech es una empresa que al igual que Pavegen trabaja en pro del medio ambiente, pero en este caso, se encarga de realizar la captación de energía que generan vehículos.

La tecnología implementada por Innowattech se instala debajo de la superficie del pavimento, que consiste en unas pastas de plástico con almohadillas de producción de energía y todos estos elementos son instalados en los guardarruedas del carril donde se desea realizar dicha implementación. (ver Figura 2).



Figura 2. Reductor Piezoeléctrico.

El Precio del reductor de velocidad ofrecida por la empresa Innowattech, para una distancia de 1 Km es de 1'761.527,25 COP [15-18-19].

Se desea saber cuál es el área a cubrir con el sistema de reductores de velocidad vendidos por Innowattech, por lo que, en la Tabla 3 se aprecia el consolidado del precio de reductores de velocidad a implementar en las tres vías de acceso.



Figura 3. Cantidad de personas que circulan por la entrada de la UFPSO por semana.

4. Resultados

Según Javier Ibáñez, estudiante de la Universidad Politécnica de Catalunya, una persona de 68 kg puede generar una energía de 67 W con una frecuencia de 2 pasos [16-20-21]

Tabla 3. Precio total del sistema de reductores de velocidad en las tres vías de la entrada de la UFPSO.

Vía	Distancia	Total, COP
1	0.00365 km	6'429.574,46
2	0.00360 km	6'341.498,10
3	0.00545 km	9'600.323,51
Total		22'371.396,08

COP: código ISO. Signo representativo del peso colombiano. USD: código ISO 4217. Dólar estadounidense. [14]

En las Figuras 3 y 4, se muestra el aforo realizado en la entrada de la UFPSO, por parte de los estudiantes que realizan el proyecto, con una durabilidad de una semana desde las 06:00 AM hasta las 08:00 PM, cuya finalidad es saber qué cantidad de estudiantes y vehículos que circulan por la entrada de la universidad en el transcurso del día.

En la UFPSO transitan en promedio 51.970 personas por semana. En la Tabla 4 se detalla la generación de energía producida en una semana al transitar por la entrada de la institución. Asimismo, se muestra la energía producida por el paso de vehículos.

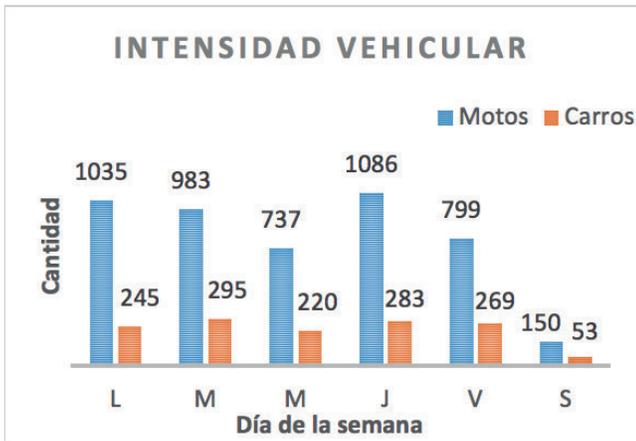


Figura 4. Cantidad de vehículos que transitan por la entrada de la UFPSO por semana

El peso promedio de los automóviles que transitan por la UFPSO oscila entre los 500kg y 750 kg vehículos de un eje[17]. La misma cantidad de personas y medios de transporte que ingresan a la UFPSO deben salir, por lo que en un año académico se generan 279'573,917.6 Watts.

Tabla 4. Watts generados por las personas y vehículos que circulan por la entrada de la UFPSO

Personas		
Tiempo	Cantidad	Watt generado
1 semana	51.970	3.340.539,70
1 mes	207.880	13.722.158,80
1 semestre	813.520	54.888.635,20
1 año	1.663.040	109.777.270,40
Carros		
Tiempo	Cantidad	Watt generado
1 semana	1.365	581.763
1 mes	5.460	2'327.052
1 semestre	21.840	9'308.208
1 año	43.680	18'616.416
Motos		
Tiempo	Cantidad	Watt generado
1 semana	4.790	356.040,7
1 mes	19.160	1'424.162,8
1 semestre	76.640	5'696.651,2
1 año	153.280	11'393.302,4

Con ayuda de un GPS, se realiza la toma coordinada de los postes de energía eléctrica, con el fin conocer la cantidad de postes que había en estas áreas y el espacio que iluminaban, y así determinar cuáles son las áreas que cuentan con poca iluminación.

Empleando el software ArcGis se ingresaron las coordenadas de los puntos tomados con el GPS, y por medio de la herramienta Geoprocessing se realizó un buffer con un radio de 15 metros. En la Figura 5 se detallan los lugares o puntos donde la iluminación es insuficiente y cuáles son los sectores donde se ve la necesidad de iluminar.

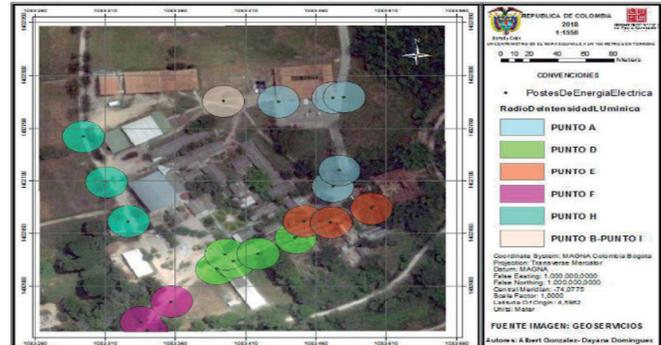


Figura 5. Radio de intensidad lumínica de los postes de energía eléctrica en la UFPSO

4.1 Estudio financiero

Este estudio se realizó con el objetivo de evaluar la viabilidad financiera, enfocado en la implementación de un nuevo sistema que permitirá abastecer la energía que se requerirá para abastecer la iluminación de las luminarias en la institución.

La adquisición del nuevo sistema que proporcionará la energía necesaria para abastecer las luminarias de la universidad tiene un costo de \$ 194'351,2904 como se indica en la Tabla 5.

Según la oficina de planeación, en la institución las lámparas están encendidas por un periodo aproximado de 10 horas al día, por ende, la universidad paga en promedio 413,67 \$/KWh.

Al momento de la investigación, la UFPSO paga a la empresa a CENS un valor de 228'756.005 COP anualmente, a partir de allí, se calculó cuánto paga la universidad por la energía que requiere para la iluminación de las luminarias.

Tabla 5. Costo para implementar Cerámica y Reductor de velocidad

Vía	Distancia	Total, COP
1	0.00365 km	6'429.574,46
2	0.00360 km	6'341.498,10
3	0.00545 km	9'600.323,51
Total		22'371.396,08

COP: código ISO. Signo representativo del peso colombiano. USD: código ISO 4217. Dólar estadounidense. [14]

El valor del sistema piezoeléctrico por año es \$57.825.823,97, dicha suma, es el valor que dejaría de pagar la UFPSO por las luminarias con la implementación del sistema piezoeléctrico, lo cual, representa una reducción del 66,9% del total del costo actual, con la implementación del sistema mencionado.

5. Discusión

De acuerdo con el flujo de caja, el tiempo de recuperación del proyecto es de 4 años. A partir del cuarto año, se recupera la inversión y se aprecia un ahorro considerable.

En la Figura 6 se puede observar el comportamiento de la rentabilidad del proyecto. Donde la VAN se hace cero, podemos observar el máximo valor de TIR para este proyecto, esto indica que, si se proyecta una rentabilidad mayor, se debería obtener más VAN para lograr dicha meta.

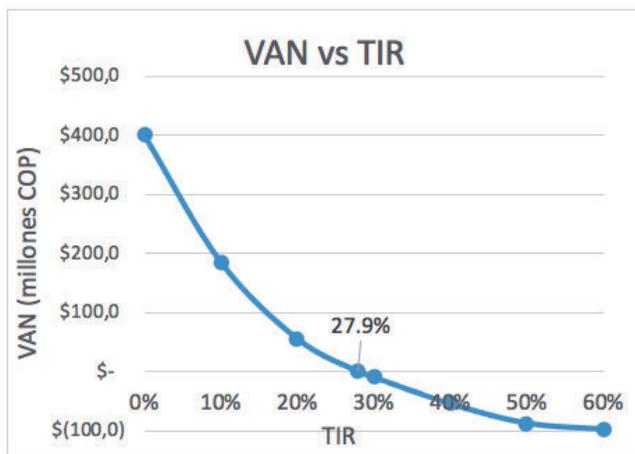


Figura 6. VAN vs TIR

Es importante tener en cuenta la viabilidad del proyecto y los riesgos que este implica, por esto se realiza un análisis de sensibilidad, este método busca identificar los posibles escenarios a ocurrir en un proyecto de inversión, clasificados en, pesimista, probable y optimista.

La tasa interna de retorno (TIR) o de oportunidad mínima para este proyecto se fijó en 12%, esto quiere decir que, si la tasa es menor a esta no es recomendable realizar la inversión.

Este porcentaje se obtuvo sumando el porcentaje de riesgo por realizar la inversión en el país fijado en 5%, el porcentaje de inflación esperada del 4% y el porcentaje mínimo de retorno esperador por realizar cualquier inversión el cual es del 3%. Esta tasa mínima esperada es tenida en cuenta para evaluar los escenarios de riesgos supuestos.

6. Conclusión

Los sistemas de recolección de energía piezoeléctricos y sus materiales de construcción son un mecanismo eficiente y amigable con el medio ambiente y su entorno de instalación, siendo estas fuentes de energías alternativas, sostenibles y renovables no convencional, con una múltiple opción en su forma e instalación.

Ambientalmente, es factible el proyecto, pues se diferencia de los usos actuales de energía convencionales, debido a que se puede mitigar las emisiones de CO₂, y más del 80% de la superficie de la cerámica está hecha con materiales reciclados como el caucho y el aluminio, según lo menciona Pavegen,

El proyecto es viable financieramente pues la VAN y la TIR arrojaron valores favorables, lo que significa una recuperación de la inversión y adicional a esto, la UFPSO disminuirá su pago de consumo energético en un 66,9%. El tiempo de recuperación sería de 4 años, ya en este año donde se logra recuperar totalmente el dinero de la inversión y adicional a esto recibe un ingreso o ahorro por la implementación de este proyecto, esto ratifica que este proyecto es sostenible financieramente y trae beneficios económicos.

7. Referencias

- [1] D. Tamayo & N. Cardozo., "Uso de Piezoeléctricos para la generación de energía." Universidad Católica de Colombia. Bogotá, 2017.
- [2] A. Morales & J. Contreras., "Análisis de conveniencia de la implementación de la energía piezoeléctrica." Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. Colombia, 2016.
- [3] C. Lamuta, S. Candamano, F. Crea & L. Pagnotta., "Direct piezoelectric effect in geopolymeric mortars, Materials & Design". Vol. 107, pp. 57-64, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.05.108>.
- [4] Barbero., Historia de los piezoeléctricos, 2014.
- [5] F. Ríos & P. Fernández., "Factibilidad Técnica y Económica de implementar un sistema con generadores piezoeléctricos." Universidad Javeriana, 2016.
- [6] A. Saul., Losas Piezoeléctricas, 2013.
- [7] Turner. Sensores piezoeléctricos, 2015.

- [8] Moreno, Método cuantitativo, 2011.
- [9] F. J. Aguirre, (2015). Repository.unimilitar [Online]. Available:<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/12025/1/articuloV0.0.0.pdf>
- [10] Normas y Costos de Construcción (2018) Costo y tiempo en edificación. [Online]. Available:https://www.academia.edu/32260590/Normas_y_Costos_de_Construccion_V3_Plazola
- [11] NationalGeographic.(2012).nationalgeographic. [Online]. Available: <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/unas-baldosas-generan-energia-con-nuestras-pisadas>
- [12] Ibañez García, J. (05 de 2012). [online]. Available: <http://innovadays.epsevg.upc.edu/wp-content/uploads/2014/ponencias/Javier-Ibanez.pdf>
- [13] Pavegen. (2018). Pavegen. [Online]. Available: <http://www.pavegen.com/about>
- [14] D. A. Zapata, (2017). [Online]. Available:<http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream>
- [15] L. M. Dávalos., (Febrero de 2014). Pucp. [Online]. Available: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5363/dajes_luis_generacion_energia_electrica_vehiculo_reductor_velocidad_seccion_trapezoidal.pdf?sequence=1&isallowed=y
- [16] J. A. Arturo Morales, “Proyectos de inversión evaluación y formulación.” México DF: mcgraw-hill/interamericana editores, s.a. de c.v., 2009.
- [17] Barbosa, E. (A. González, Entrevistador),2018.
- [18] C. M. Durán-Chinchilla, M. Cárdenas-García, & T. Velásquez-Pérez, “Los modelos pedagógicos y su influencia en la práctica docente de la Universidad Francisco de Paula Santander”, Revista Ingenio, vol. 9(1), pp. 77–88, jun. 2016. Doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2068>
- [19] R. A. García-León, Álvaro Avendaño-Quintero, & S. A. Suarez-Castrillón, “Diseño de un prototipo de sembrador mecánica de granos, alternativa agrícola”, Revista Ingenio, vol. 12(1), pp. 33–40, ene. 2017. Doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2122>
- [20] G. Guerrero-Gómez, E. Espinel-Blanco, & T. Velásquez-Pérez, “Análisis isocinético y corrección a condiciones de referencia en horno a cielo abierto en el municipio de Ocaña, Norte de Santander”, Revista Ingenio, vol. 14(1), pp. 43–51, jul. 2017. Doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2194>
- [21] A. A. Rosado-Gómez, “Consolidación de indicadores institucionales utilizando bodega de datos”, Revista Ingenio, vol. 11(1), pp. 53–63, dic. 2016. Doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2094>