

DIAGNÓSTICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS
COMO ALTERNATIVA DE ENERGÍA RENOVABLE EN LA UNIVERSIDAD SANTO
TOMÁS VILLAVICENCIO CAMPUS AGUAS CLARAS.



LAURA VALENTINA ARÉVALO LIZARAZO
DARWIN ANDREY LAMPREA BELTRÁN



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO
2019

DIAGNÓSTICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS
COMO ALTERNATIVA DE ENERGÍA RENOVABLE EN LA UNIVERSIDAD SANTO
TOMÁS VILLAVICENCIO CAMPUS AGUAS CLARAS.

LAURA VALENTINA ARÉVALO LIZARAZO
DARWIN ANDREY LAMPREA BELTRÁN

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental.

Asesor
YASSER FARRÉS DELGADO
Arquitecto
PhD. Urbanismo, ordenación del territorio y medio ambiente

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O.P.

Rector General

P. EDUARDO GONZÁLES GIL, O.P.

Vicerrector Académico General

P. FRAY JOSÉ ARTURO RESTREPO RESTREPO, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano de Facultad de Ingeniería Ambiental

YASSER FARRÉS DELGADO

Director Trabajo de Grado

JORGE ELIECER PARDO MAYORGA

jurado

OLGA LUCIA CUBIDES DUSSAN

jurado

Villavicencio, Julio, 2019

Dedicatoria

A Dios, por darme la sabiduría y fortaleza para superar con éxito este proceso, a mis padres Mercedes Lizarazo y Alberto Arévalo, mis abuelos, mis hermanas, y mis amigos por brindarme su amor, apoyo incondicional y las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente. ¡A todos mil gracias!

A la memoria de mis amigos Juan Fernando Trujillo y Julián Andrés Ríos, para que sientan este triunfo como suyo, pues nos conocimos en el inicio de esta trayectoria con un sueño en común, siempre estarán en mis pensamientos y mi corazón.

Laura Arévalo

Quiero agradecer a Dios que ha hecho posible el cumplir esta meta, mi madre Jaqueline Beltrán, mi padre Enrique Lamprea, por ser ese constante apoyo, y brindarme su amor, a pesar de la distancia, mi hermano Wilson Lamprea, por ser ese apoyo tan grande desde mi niñez, sacándome adelante con tanto sacrificio, y siempre estaré atentamente agradecido por ese esfuerzo, y de aquí en adelante espero no decepcionarlo y por ultimo a mi novia Leidy García, que me ha acompañado en este proceso insistentemente.

Darwin Lamprea

Agradecimientos

Agradecemos a Dios primeramente por permitirnos la culminación de esta etapa tan importante y fundamental para nuestras vidas, ya que, a pesar de que no fue fácil, el nos dio su mano y empuje para seguir adelante en este camino.

A nuestros padres, pues gracias a su esfuerzo, dedicación y constancia nos brindaron esta oportunidad como herramienta para salir adelante y hacerlos sentir orgullosos en un futuro.

A nuestro director, Yasser Farrés, por brindarnos esa confianza y asesoría para el desarrollo de este trabajo, orientándonos de la mejor manera con su experiencia y conocimiento en el campo de la investigación.

Al docente Iván Hernández, creador del semillero Renovabilidad Tomasina ya que, gracias a su empuje y orientación a través de estos años logro despertar en nosotros el interés y la pasión por la investigación, siempre confiando en nosotros y dándonos las bases para el desarrollo de esta idea de proyecto.

A los docentes Olga Cubides y Christian Rojas, que, a través de sus conocimientos y experiencias personales, nos brindaron nuevas perspectivas y aportes para la fase final de este proyecto de investigación. Agradecemos de ante mano, el acompañamiento, asesoría e interés para culminar este proceso con éxito.

Y, por último, a todos los docentes, que, a través de sus conocimientos en sus respectivas áreas de conocimiento, siempre crearon esos peldaños para llegar a este punto final.

Contenido

1	Resumen.....	12
2	Introducción	14
3	Planteamiento del problema.....	15
3.1	Pregunta de investigación	16
4	Objetivos	17
4.1	Objetivo General	17
4.2	Objetivos Específicos.....	17
5	Justificación	18
6	Alcance	21
7	Antecedentes	22
8	Marco referencial	24
8.1	Marco teórico	24
8.2	Marco conceptual.....	27
8.3	Marco Legal	28
9	Metodología	31
9.1	Fase 1. Elaboración del prototipo de baldosa piezoeléctrica	32
9.1.1	Búsqueda de información bibliográfica	32
9.1.2	Diseño del prototipo.....	32
9.1.3	Selección de materiales óptimos para la construcción.	32
9.1.4	Construcción de la baldosa	33
9.2	Fase 2. Eficiencia energética del sistema piezoeléctrico.....	33
9.2.1	Área de estudio.....	33
9.2.2	Aforos peatonales en el aula de clase.....	34
9.2.3	Diagnóstico inicial para la implementación de la baldosa	35
9.3	Fase 3. Determinación de la relación Costo – Beneficio	35
9.3.1	Aforos peatonales en los puntos potenciales.....	35
9.3.2	Análisis de resultados.....	36
9.3.3	Indicadores económicos.	36
9.3.4	Análisis beneficio Ambiental.....	37
10	Resultados y análisis	38
10.1	Elaboración del prototipo de baldosa piezoeléctrica.....	38
10.1.1	Búsqueda de información bibliográfica	38

10.1.2	Diseño de la baldosa.	40
10.1.3	Selección de materiales óptimos para la construcción	42
10.1.4	Construcción de la baldosa.	46
10.2	Eficiencia energética del sistema piezoeléctrico.....	46
10.2.1	área de estudio.....	47
10.2.2	Aforos peatonales.....	47
10.2.3	Diagnóstico inicial para la implementación de la baldosa.	49
10.3	Determinación de la relación Costo – Beneficio.....	51
10.3.1	Aforos peatonales.....	51
10.3.2	Análisis costo- beneficio.....	53
10.3.3	Beneficio ambiental	62
11	Conclusiones.....	70
12	Recomendaciones.	71
12.	Bibliografía	72

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Ecuaciones de energía.....	24
Tabla 2. Componentes de la calificación ambiental según metodología EPM	26
Tabla 3. Formato para el registro de flujo en los aforos	34
Tabla 4. Frecuencia generada según la forma geométrica de la placa	40
Tabla 5. Matriz de decisión para la selección del material para la placa superficial de la baldosa piezoeléctrica.	44
Tabla 6. Relación del peso con respecto a la energía por pisada.	46
Tabla 7. Energía generada por la baldosa en la semana de toma de aforos.	48
Tabla 8. Gasto energético perteneciente al aula de la prueba piloto.	49
Tabla 9. Proyección del consumo energético (2019-2023) para la Universidad Santo Tomás, Campus Aguas Claras.	56
Tabla 10. Energía generada por el 1er punto potencial.....	57
Tabla 11. Valor de la energía mensual y semestral producida por la baldosa.	58
Tabla 12. Energía generada por el segundo punto potencial (torniquetes).	59
Tabla 13. Proyección de consumo y ahorro energético de la universidad al año 2023.....	60
Tabla 14. Proyección económica del sistema.	61
Tabla 15. Indicadores económicos del proyecto.	61
Tabla 16. Matriz de impacto EMP aplicada al proyecto de baldosas piezoeléctricas.....	63
Tabla 17. Reducción de emisiones de CO ₂	69

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, Campus Aguas Claras. Por Arévalo & Lamprea, 2019	21
Figura 2. Esquema metodológico sobre las fases en las cuales fue dividida la investigación. Por Arévalo & Lamprea, 2019.	31
Figura 3. Número de artículos encontrados para cada base de datos utilizando como palabra clave: “piezoelectricidad”. Por Arévalo & Lamprea, 2019	38
Figura 4. Número de artículos encontrados para cada base de datos utilizando como palabra clave: “piezoelectricity” Por Arévalo & Lamprea, 2019	39
Figura 5. Número total de artículos pertinentes para el proyecto, después de excluir los artículos de otras disciplinas contrarias al tema principal. Por Arévalo & Lamprea, 2019	39
Figura 6. Dimensiones del pie adulto masculino y femenino de la población Colombiana. (Ávila, Prado, & González, 2007). Modificado por Arévalo & Lamprea, 2019.	41
Figura 7. Dimensiones del sensor piezoeléctrico usado y su generación de energía. (Theremino, sf). Modificado por Arévalo & Lamprea, 2019.	41
Figura 8. Diseño final de la baldosa piezoeléctrica. Hecho en Solidworks por Arévalo, Lamprea & Pérez, 2019.	42
Figura 9. Distribución de los piezoeléctricos para asegurar su contacto con la presión ejercida. Hecho en Solidworks por Arévalo, Lamprea & Pérez, 2019.	42
Figura 10. Baldosa piezoeléctrica construida según el diseño y materiales seleccionados. Por Arévalo, Lamprea & Pérez, 2019.	46
Figura 11. Ubicación de la baldosa en el Aula de la prueba piloto, Por Arévalo & Lamprea, 2019	47
Figura 12. Aforos pertenecientes al aula en la prueba piloto. Por Arévalo & Lamprea, 2019	48
Figura 13. Energía generada en la prueba piloto. Por Arévalo & Lamprea, 2019.	49
Figura 14. Aforos del punto potencial de la Rampa. Por Arévalo & Lamprea, 2019.	52
Figura 15. Aforos del punto potencial de los torniquetes. Por Arévalo & Lamprea, 2019.	53
Figura 16. Histórico del consumo energético mensual en los años (2014-2019) en la universidad Santo Tomas Villavicencio, Campus Aguas Claras. Por Arévalo & Lamprea, 2019.	54
Figura 17. Costos mensuales pagados por consumo energético (2014-2019), por la Universidad Santo Tomas Villavicencio, Campus Aguas Claras. Por Arévalo & Lamprea, 2019.	55
Figura 18. Línea de tendencia del crecimiento de la demanda energética anual de la Universidad Santo Tomás, Campus Aguas Claras. Por Arévalo & Lamprea, 2019.	56

Figura 19. Ubicación del primer punto potencia (Rampa). Por Arévalo & Lamprea, 2019.....	57
Figura 20. Entrada peatonal a la universidad (2 punto potencial). Por Arévalo & Lamprea, 2019.....	58
Figura 21. Ubicacion de las baldosas en el segundo punto potencial. Por Arévalo & Lamprea, 2019.....	59

1 Resumen

La presente investigación desarrollo un diagnóstico para la implementación de un sistema de baldosas piezoeléctricas, como una alternativa de energía renovable en la universidad Santo Tomas Villavicencio. Lo anterior, mediante el diseño y construcción de un prototipo de 41 x 41 cm, acatando criterios económicos, ambientales y de calidad, evaluando mediante una prueba piloto en el salón 103ª del campus aguas claras, su resistencia al peso y su comportamiento energético en un flujo peatonal controlado, arrojando una producción por pisada de 0,0072 W

Seguidamente, se procedió a escoger dos puntos potenciales teniendo en cuenta los mayores flujos peatonales, siendo estos, la rampa antes de llegar al lobby y la portería peatonal. Allí, se hizo un análisis de cuantas baldosas se podrían posicionar, y cuanta energía generarían estas, arrojando un total de 180 baldosas con una producción de 107,71 W anuales en los dos puntos para el año 2019. Por otro lado, la demanda energética anual de la universidad se estimó teniendo en cuenta los históricos del consumo de energía del año 2014 al 2018, arrojando 1780150,8 kW/h para el año 2019. Con lo anterior, se pudo estimar la viabilidad económica generada por el sistema, además de los beneficios ambientales generados por el proyecto.

Palabras Clave: baldosas, piezoeléctricas, energía, viabilidad, diagnóstico.

Abstract

The present investigation developed a diagnosis for the implementation of a piezoelectric tile system, as a renewable energy alternative in Santo Tomas Villavicencio University. The above, through the design and construction of a prototype of 41 x 41 cm, complying with economic, environmental and quality criteria, evaluating through a pilot test in the 103rd room of the campus clear waters, its resistance to weight and its energetic behavior in a controlled pedestrian flow, yielding a production per foot of 0.0072 W

Then, we proceeded to choose two potential points taking into account the largest pedestrian flows, these being the ramp before reaching the lobby and the goal. There, an analysis was made of how many tiles could be positioned, and how much energy they would generate, yielding a 180 total of tiles with an annual production of 107,71 W in the two points for the year 2019. On the other hand, the annual energy demand of the university was estimated taking into account the historical energy consumption from 2014 to 2018, yielding 1780150.8 kW / h for the year 2019. With the above, it was possible to estimate the economic viability generated by the system, in addition to the benefits environmental impacts generated by the project.

Key Word: tiles, piezoelectric, energy, viability, diagnosis.

2 Introducción

La piezoelectricidad es considerada como aquel fenómeno que, a través de tensiones mecánicas en ciertos tipos de cristales, generan una polarización eléctrica en su masa y en consecuencia crean cargas eléctricas en su superficie (Acciona, 2018). Desde su descubrimiento en 1880 por Jacques y Pierre Curié, se ha venido trabajando en su desarrollo para implementar esta tecnología en actividades cotidianas y aplicaciones comerciales de hoy en día, como por ejemplo los encendedores, relojes con alarma, impresoras, inyectores de combustibles y hasta en los sonares de los submarinos (Cúpich & Elizondo, 2000).

Actualmente con la constante y creciente problemática generada por el uso de energías convencionales como gas, petróleo, carbón, entre otros, los seres humanos para no seguir aportando a los efectos del cambio climático, nos hemos visto en la necesidad de nuevas alternativas de energía que sean ilimitadas, eficientes y limpias. Es por ello que en este trabajo de grado se propone el aprovechamiento de este fenómeno piezoeléctrico para la creación y posible implementación de baldosas que estén en capacidad de recolectar energía mecánica a partir del flujo peatonal de la comunidad tomasina (vibraciones y pisadas), para así transformarla y convertirla finalmente en energía eléctrica la cual pueda ser usada directamente para alimentar mecanismos de baja frecuencia como luces LED o ser almacenada para su posterior uso en otras aplicaciones (Tristán, 2016), en la Universidad Santo Tomas Campus Aguas Claras.

El diagnóstico anterior se realizará teniendo en cuenta criterios de factibilidad ambiental que comprenden la procedencia de los materiales usados para la construcción de las baldosas y la reducción de huella de carbono producida, factibilidad de calidad en cuanto a la resistencia de los materiales y la eficiencia del sistema de baldosas mediante una prueba piloto, y finalmente la factibilidad económica que comprende el beneficio económico (relación costo-beneficio) generado por el proyecto a la Universidad Santo Tomas Villavicencio, teniendo en cuenta la energía generada por el sistema de baldosas.

3 Planteamiento del problema

Actualmente el consumo energético mundial depende notoriamente de las energías convencionales no renovables (gas, carbón, petróleo, entre otras), cuya extracción y producción genera notables beneficios económicos (Olivera Villarroel, 2011). Sin embargo, los beneficios ambientales asociados a la extracción de estos recursos son prácticamente nulos, y sus impactos negativos; la deforestación, vertimiento de sustancias tóxicas, desplazamiento de la fauna por nombrar algunas, conllevan afectaciones importantes en los ecosistemas y en los recursos agua, aire y suelo (Gudynas, 2018).

Por otro lado, el modelo de crecimiento exponencial que está sufriendo la población mundial (Manrique Abril, Martínez Martín, & Ospina, 2007), ligado a la abundante producción industrial, trae consigo un gran desequilibrio ambiental debido a que, los porcentajes de consumo asociado a los recursos naturales son más elevados a comparación del tiempo de regeneración que tiene el ambiente, la tierra llegará a un estado donde no podrá regenerar los recursos consumidos (Carbo Giro & Roca Baringo, 2014).

Así pues, ante este panorama, la utilización de las energías renovables o limpias, se están convirtiendo en una de las opciones más potencializadas para suplir la demanda energética a nivel mundial. En Colombia, se cuenta con un gran potencial para la implementación de energías renovables, en parte por su ubicación geográfica y, por otro lado, por el ámbito gubernamental, incentivado por parte del plan energético nacional, que promueve la utilización de energías renovables con un bajo impacto negativo al ambiente (Beltrán Gómez, 2016).

De acuerdo con estimaciones de la Universidad Jorge Tadeo Lozano y la UPME, se pronostica que en el año 2030 el país deberá consumir un 30% de energías limpias o renovables y el 70% de las fuentes tradicionales (hidroeléctrica y térmica) (Revista Dinero, 2018).

La ciudad de Villavicencio es abastecida primordialmente de energía por las fuentes hidroeléctricas; por otro lado, ante un fallo de este sistema de abastecimiento, el uso de las energías

renovables supondría una ayuda importante para la obtención energía, ya que su obtención se basa en flujos de la naturaleza o cotidianidades, como la energía piezoeléctrica, que aprovecha las pisadas del flujo masivo de las personas.

Caminar es una de las actividades que el ser humano ejecuta en toda su vida, se estima que en promedio una persona puede llegar a dar más de 200 millones de pasos; Villavicencio cuenta con más de 495.200 habitantes; teniendo en cuenta que la energía piezoeléctrica aprovecha el flujo de las pisadas, esta sería una opción bastante viable para la capital del Meta ante una posible emergencia energética por el fallo de las hidroeléctricas que lo abastecen, debido a que esta energía se produciría diariamente y sin causar impactos negativos al ambiente en su proceso de producción. El desconocimiento de esta tecnología lleva al desaprovechamiento de la producción energética infinita que se tiene en las pisadas.

En este contexto, la Universidad Santo Tomas, cuenta con un abundante flujo, debido a su personal estudiantil, proyectándolo de una manera positiva al aprovechamiento de esta energía en todo su campus. Esta energía sería utilizada para el apoyo de la red eléctrica convencional.

3.1 Pregunta de investigación

Nuestra investigación se centra en la siguiente pregunta problema: ¿En qué porcentaje la producción de energía piezoeléctrica podría contribuir a la sustitución de las fuentes de energía convencionales en la Universidad Santo Tomás Villavicencio Campus Aguas Claras?

4 Objetivos

4.1 Objetivo General

Realizar un diagnóstico para la implementación de baldosas piezoeléctricas como alternativa de energía renovable mediante aforos peatonales y una prueba piloto, en la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio Campus Aguas Claras.

4.2 Objetivos Específicos

- Construir un prototipo de baldosa piezoeléctrica, teniendo en cuenta criterios ambientales, económicos y de calidad.
- Determinar la eficiencia de un sistema de energía piezoeléctrica en un aula de clase de la Universidad Santo Tomás, Campus Aguas Claras.
- Establecer la relación Costo-beneficio con base a la energía generada por la baldosa teniendo en cuenta el flujo peatonal de la Universidad Santo Tomás, Campus Aguas Claras y el beneficio económico- ambiental generado por el proyecto.

5 Justificación

La energía piezoeléctrica es en la actualidad una de las opciones energéticas menos conocidas, pero más prometedoras, ya que no solo contribuye a mejorar la calidad de vida de la sociedad en cuanto a mayor acceso a la energía eléctrica, mejora en la calidad del aire, reducción de la dependencia energética convencional y aprovechamiento de los residuos sólidos plásticos, sino también al cumplimiento de los objetivos 7,8,9,11,12,13 y 15 de desarrollo sostenible, gracias a que permite convertir la presión y vibración en energía eléctrica que puede ser almacenada o usada directamente (Montoya, Toledo, & Angulo, 2010) .

Además de ello, la energía piezoeléctrica posee mayores ventajas frente a otros tipos de energías limpias, pues no solo puede ser implementada en cualquier zona que cumpla con unos requisitos mínimos de tráfico peatonal o vehicular, sino que también por su capacidad de transformación de energía cinética a energía eléctrica, le permite tener gran variedad de aplicaciones como lo son baldosas, vías vehiculares y peatonales, tapetes, pistas de baile, basculas vehiculares entre muchos otros (Renovables Verdes, 2011), todo lo anterior sin que se limite por factores geográficos o climáticos como si lo requieren la energía solar y la eólica (Tamayo & Cardozo, 2017).

En el mundo, las ventajas medioambientales de las energías renovables se conocen desde hace décadas, pero sus ventajas socioeconómicas solo se han conocido a través de los últimos años a medida que las tecnologías de energías renovables han penetrado en la matriz energética de muchos países. Las ventajas más significativas son: 1) La generación de empleo, puesto que, según las estimaciones de la agencia internacional de energías renovables, este sector empleo a 9,8 millones de personas en todo el mundo gracias al aumento de las inversiones en este tipo de proyectos. 2) La resistencia, puesto que estas tecnologías se implementan de manera distribuida y modular haciéndolas menos propensas a fallas a gran escala, permitiendo que en casos de eventos climáticos severos estas puedan implementarse rápidamente donde sea necesario sin ningún tipo de infraestructura compleja. 3) Accesibilidad a la energía, ya que, por medio de estas energías autónomas, zonas rurales o pequeños estados en desarrollo no interconectados pueden acceder a energía eléctrica confiable, eficiente y segura (PNUD)(Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo).

Actualmente a pesar del gran potencial que posee Colombia, las energías renovables no convencionales en la matriz energética del país solo representan el 2%, considerando que la demanda energética en Colombia tiene una expectativa de crecimiento cercana al 51,2% para el 2030, es necesario dar respuesta al futuro incremento de la demanda, por lo que el país se ve en la necesidad de empezar una transición energética que según el CONPES 3934 tiene como propósito el desarrollo e implementación de fuentes renovables no convencionales mediante la inclusión de estas en el mercado energético, su uso en zonas no interconectadas que en este momento según el IPSE (Instituto de Planificación y promoción de Soluciones Energéticas para las zonas no interconectadas) son 1710 poblaciones; y otros usos energéticos, complementando no solo la diversificación de la oferta, sino que también mejorando la seguridad del suministro manteniendo constante o casi nula la generación de emisiones de gases efecto invernadero y otras emisiones contaminantes (Ministerio de Minas y Energía, 2016). Por otro lado, hoy en día son pocas las universidades con productos académicos e investigativos en energía renovable piezoeléctrica en el país, por lo que cabe resaltar la necesidad de amentar la investigación en este ámbito, pues puede ser de gran utilidad para el desarrollo regional y nacional.

El departamento del Meta posee gran cantidad de recursos naturales y ubicación geográfica privilegiada que le permitiría un gran desarrollo de energías limpias para abastecerse, y no solo aportar al medio ambiente, sino generando desarrollo local y mejorando la calidad del servicio ya que con los sistemas de distribución de la energía convencional actual, es más propenso a interrupciones en el suministro de energía debido a fenómenos climáticos extremos, fauna silvestre y aumentos repentinos de la demanda energética (EMSA, 2017). El servicio de electricidad lo suministra la electrificadora del meta (EMSA), brindando aproximadamente 835 GWh anuales a un poco más de 900.000 metenses procedente en su totalidad de hidroeléctricas, y por lo tanto generando impactos negativos como pérdida de biodiversidad, deforestación, pérdida de cobertura vegetal, efecto barrera en la migración de los peces, entre otros (Rico, 2018). En cuanto a la energía piezoeléctrica para ciudad de Villavicencio, solo se cuenta con un plan de negocios como trabajo de grado que no se ha llevado a cabo, por lo que la investigación de este tipo de energía es nula en la ciudad a pesar del potencial peatonal y vehicular que posee.

Por otro lado, cabe resaltar que este proyecto además pretende incorporar en la baldosa piezoeléctrica materiales reciclados como el plástico o el caucho, pues las crisis de los rellenos

sanitarios y la contaminación por residuos se encuentran en un nivel preocupante. De la totalidad del plástico utilizado a nivel mundial sólo se recicla el 9% (ONU, 2018) y para el caso puntual colombiano al año solo se recupera el 26% del plástico total (Suárez, 2019) y en cuanto al caucho de neumáticos cada año en Colombia salen a la venta 5,3 millones de llantas que después de cumplida su vida útil pueden generar un problema ambiental y de salud pública (Suaréz, 2016). Por lo anterior este proyecto posee un gran impacto positivo ambiental y social, pues no solo aporta al suministro energético, sino que también al eficiente manejo de los residuos sólidos.

6 Alcance

La investigación realizada para la elaboración de este proyecto inicialmente busca generar una diagnóstico base para la implementación de la energía piezoeléctrica en la universidad Santo Tomas sede Villavicencio Campus Aguas Claras (figura 1), dejando las columnas para futuras investigaciones y profundizaciones en esta tecnología, apuntando al desligamiento progresivo de las fuentes de energía convencionales. Lo anterior, dando a conocer los beneficios ambientales y económicos que se le atribuyen a la implementación de estos sistemas de energía, beneficiando a la comunidad tomasina y a gran escala a los habitantes de Villavicencio. Por otro lado, se busca impactar a la comunidad estudiantil para futuros procesos de investigación sobre energía renovable para la universidad, generando pasos importantes para convertirla en la primera universidad verde de la Orinoquía. Por último, esta tecnología de baldosas piezoeléctricas apunta a ser proyectada a implementarse en otros lugares que cuenten con condiciones de flujo abundante a nivel nacional y en zonas no interconectadas.

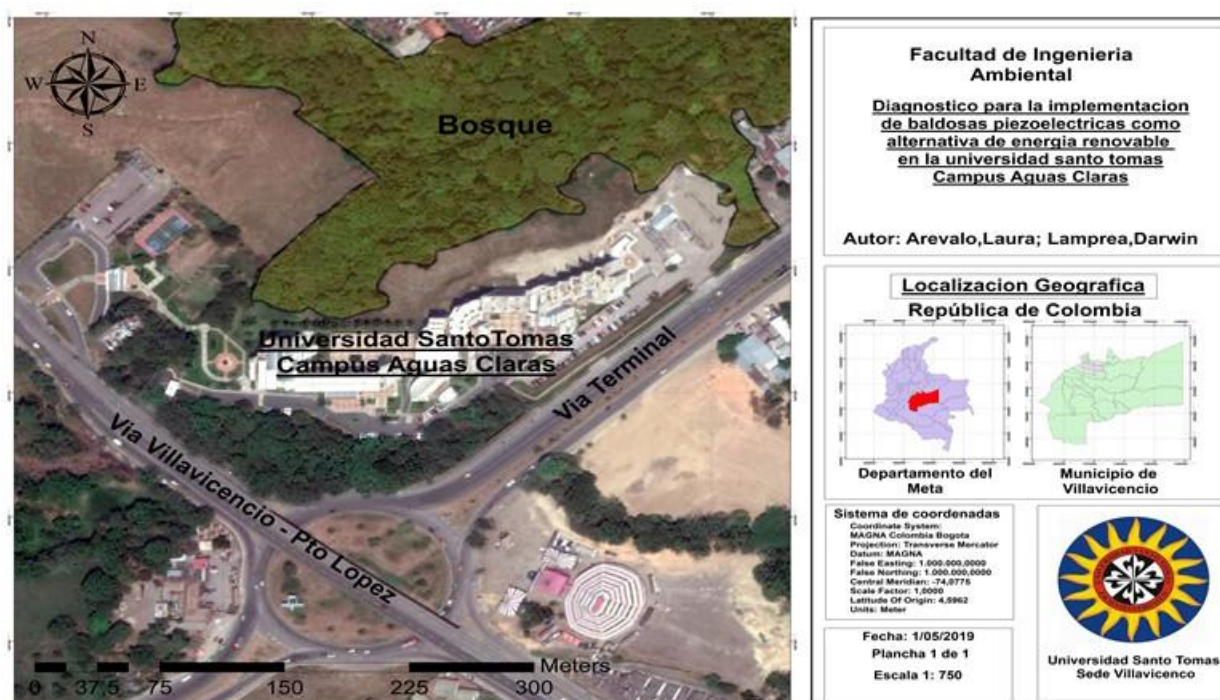


Figura 1. Ubicación de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, Campus Aguas Claras. Por Arévalo & Lamprea, 2019

7 Antecedentes

Aunque la piezoelectricidad es conocida desde el siglo XIX y se han realizado aplicaciones en el campo militar y aeronáutico, fue poca la utilización de este efecto para la producción de energía, por lo que es una de las energías alternativas menos desarrollada. Sin embargo, a partir del cambio climático y sus consecuencias, se incentivó a nivel mundial el uso de nuevas tecnologías a través de la implementación del Protocolo de Kioto (1997), lo que originó un nuevo interés en esta tecnología.

En el año 2001 Nathan Shenck y Joseph Paradiso del laboratorio de medios del MIT (Massachusetts Institute of Technology), del grupo de ambiente receptivos, crearon un dispositivo discreto capaz de generar electricidad de la fuerza ejercida en un zapato cuando el usuario camina, siendo este uno de los primeros dispositivos que se crearon para generar energía eléctrica a partir del movimiento peatonal y la fuerza ejercida por las pisadas usando el efecto piezoeléctrico.

Conociendo los alcances del efecto piezoeléctrico para la generación de energía, en el año 2008 en Japón, la compañía encargada del metro (East Japan Railway) decidió aprovechar el flujo masivo de personas que hacen uso del metro para beneficio propio con la instalación de zonas de paso creadas con materiales piezoeléctricos ubicados en los tornos de entrada, como resultado obtuvieron la generación de 10 W/seg con el sistema funcionando al 90% de su capacidad energía que es usada para los torniquetes y carteles electrónicos (Borja, 2008). Estos últimos avances y aplicaciones de estos materiales, en 2009 llevaron a Innowatech, una empresa de ingeniería israelí a ser pioneros en desarrollar una técnica por medio de piezoelectricidad para generar energía a partir del peso, movimiento y vibraciones de los vehículos, instalando generadores 0,05 m bajo el asfalto de algunas autopistas concurridas, permitiendo así abastecer de electricidad los alumbrados públicos en las zonas aledañas (Tamayo & Cardozo, 2017).

Similares avances se han realizado en otros países como Reino Unido en donde estudiantes de la Universidad de Coventry, tomando como caso de estudio el proyecto piezoeléctrico de Innowatech en Israel, plantean calles piezoeléctricas adaptadas a las necesidades y costos británicos (Kour & Charif, 2016). Además de India en donde también Ingenieros del Heritage Institute of Technology de Kolkata, estipularon a los aeropuertos y vías vehiculares como los

escenarios potenciales para la generación piezoeléctrica a gran escala en dicho país (Paul & Roy, sf).

En cuanto a baldosas piezoeléctricas, los más reconocidos son la empresa inglesa PAVEGEN, fundada en el año 2009 por Laurence Kemball-Cook, y que cuenta con avanzada tecnología que les permite a sus baldosas obtener por pisada entre 4 – 8 W que puede ser usada directamente o almacenada para su posterior uso, permitiéndole implementar estas en aeropuertos, maratones, estadios, colegios, discotecas, entre muchos otros (Fresneda, 2013).

Respecto al desarrollo de esta tecnología a nivel nacional, en el año 2013 en la ciudad de Medellín se desarrolló un proyecto con el fin de generar energía a través de las vías de la ciudad en el sector del “Poblado” gracias a la compañía Trevoolt (Tamayo & Cardozo, 2017). Por otro lado, también en el mismo año la Corporación Universitaria Minuto de Dios desarrolló la evaluación preliminar del uso del efecto piezoeléctrico para generación de energía gracias a la iniciativa planteada por famoso ingeniero, el Dr. Jorge Reynolds Pombo desarrollando así el programa de tecnología electrónica para investigación exploratoria (Castellanos, 2013).

Para el año 2014 en la Universidad Nacional de Colombia, se desarrolló como Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica, un colector de energía piezoeléctrica mediante una optimización topológica que permitió maximizar la transformación de energía eléctrica por medio de modificaciones en los colectores de energía (Sepúlveda, 2014).

En posteriores años, para el 2016 en la Universidad Javeriana, como trabajo de investigación para el título de magister en gestión ambiental, se presentó una propuesta para el mejoramiento energético en el edificio Rafael Arboleda de esa universidad, mediante la combinación de energía piezoeléctrica y fotovoltaica (Carrillo & Velandia, 2016).

Finalmente para el año 2017, como trabajo de grado en ing. civil de la Universidad Católica, se desarrolló un perfil vial en el cual se implementaba el uso de piezoeléctricos para la generación de energía eléctrica (Tamayo Zapata & Cardozo Gutierrez, 2017). Así mismo, en la Universidad Javeriana, como parte de un trabajo de grado, se propone un recolector de energía piezoeléctrico para una zona de alto tráfico vehicular en la ciudad de Cali, basados en el recolector de energía creado en el año 2014 en la universidad nacional. (Quintero & Fernández, 2017).

8 Marco referencial

8.1 Marco teórico

El término de piezoelectricidad se deriva del prefijo “Piezo” que proviene del griego *piezein*, el cual significa apretar u oprimir. La piezoelectricidad es una propiedad poseída por ciertos materiales que permite transformar de manera directa energía eléctrica en mecánica, y viceversa. Dicha propiedad es un fenómeno que aparece en algunos cristales dependiendo de la estructura del cristal. (Bañuls, 2017). Los pioneros en este tema fueron los hermanos Jacques y Pierre Curie en 1880, los cuales estudiaron la aplicación de presión a un cristal como el cuarzo, el cual generaba cargas eléctricas en este, al ver este resultado lo denominaron efecto piezoeléctrico. Un año después, Lippman, descubrió que existe también un efecto “Piezo inverso” halló que el material piezoeléctrico es capaz de invertir el proceso de energía mecánica a eléctrica.

Al hacer una presión vertical sobre los piezoeléctricos, es conducido a un generador, capaz de producir electricidad. Para la generación de dicha electricidad se debe aprovechar la energía mecánica de los vehículos y peatonales (Tamayo & Cardozo, 2017)

Atendiendo a lo anterior, es indispensable conocer, que la energía mecánica es aquella que posee un cuerpo respecto a su movimiento (Gonzáles, 2014); expresándose por medio de la Ecuación 1, mostrada en la tabla 1:

Tabla 1. Ecuaciones de energía.

	Ecuación 1	Ecuación 2	Ecuación 3	Ecuación 4
Expresión	$E_{mec} = E_p + E_c$	$E_p = m * g * h$	$E_c = \frac{1}{2} * m * v^2$	$E_d = F_{pd} * E_{pp}$
Variable 1	Ec= Energía cinética	Epg= Energía potencial	Ec= Energía cinética	Ed = Energía diariamente
Variable 2	Ep= Energía Potencial	m= Masa Corporal	m= Masa Corporal	Fpd = Flujo de personas diario del punto
Variable 3	Emec= Energía Mecánica	g= Gravedad	v2= Velocidad del cuerpo	Epp = Energía producida en la baldosa por pisada
Variable 4	No aplica	h= Altura	No aplica	No aplica

Nota: Las ecuaciones de energía se aplican directamente en la investigación, debido a las situaciones a las que son sometidas el prototipo, además de la que se utiliza para la obtención de energía eléctrica. Por Arévalo & Lamprea, 2019.

Respecto a la Ecuación 1, se hace necesario conocer tanto la energía cinética como la energía potencial, donde esta última hace referencia a la energía almacenada en un cuerpo, capaz de realizar un trabajo (Valcarso, 2014), y es expresada en la Ecuación 2 (tabla 1)

Asimismo, en cuanto a la energía cinética, esta se refiere a la energía del movimiento, arraigada a la dependencia de la masa y la velocidad, es decir, entre mayor masa y velocidad contenga un cuerpo, su energía cinética será más elevada. Este tipo de energía se expresa como se muestra en la Ecuación 3.

Por otro lado, un término de importancia en este proyecto es el reciclaje de residuos plásticos, ya que la disposición final de los residuos plásticos en los vertederos una práctica que cada vez más se está reduciendo y eliminando debido a su extenso tiempo de durabilidad. Existen diversos métodos en el tratamiento de reciclado de los plásticos: el primario, secundario, terciario y cuaternario. Para efectos del proyecto se usará el método secundario, el cual consiste en la fusión, pues los desechos son convertidos en productos de diferentes formas y con mayor espectro de aplicaciones diferentes a las del plástico original.

Adicional a lo mencionado anteriormente, en función de la investigación también se tiene en cuenta la metodología utilizada para la realización de aforos peatonales, por su importancia para la estimación de la energía generada por el proyecto, mediante la ecuación de producción de energía diaria respecto a las pisadas como se muestra en la tabla 1.

La metodología de aforos utilizada, es adoptada de la metodología para la elaboración del estudio de tránsito (Financiera de Desarrollo Nacional (FDN), 2017), hecha para la estructuración técnica del tramo 1 de la primera línea del metro de Bogotá (PLMB); donde consiste en contar el flujo peatonal, vehicular y bici usuarios en intervalos de 15 minutos, en un tiempo de 1 día; esta metodología se formuló para conocer el flujo en los tramos de la construcción del metro de Bogotá.

Por último, para la determinación de los impactos ambientales generados por el proyecto y compararlos con los impactos generados por las hidroeléctricas (principal fuente de abastecimiento energético), se hace uso la matriz EPM o Arboleda, siguiendo los siguientes pasos:

Paso 1. Identificación de etapas: Se procedió a dividir el proyecto de baldosas piezoeléctricas en fases como construcción, instalación, operación y disposición final.

Paso 2. Identificación de los impactos: Para este paso, se determinaron las actividades realizadas en cada una de las etapas, para así identificar los impactos que cada una de estas genera en el sistema biótico, abiótico y socio- económico en el área de influencia de proyecto.

Paso 3. Evaluación de los impactos: Una vez identificados los impactos generados por el proyecto en cada etapa, se realiza la evaluación individual de estos, valorándolos de acuerdo con los componentes de la calificación ambiental usada para las matrices de EPM (Tabla 2).

Tabla 2. Componentes de la calificación ambiental según metodología EPM

Componente	Valor	Descripción
Clase (C)	(+) o (-)	Define el sentido del cambio ambiental producida por una acción del proyecto
Presencia (P)	1,0	Cierto: Existe absoluta certeza de que el impacto se presente
	0,8	Probable: es probable hasta en un 50% que el impacto aparezca
	0,4	Incierto: Es poco probable que el impacto se presente
	0,1	Imposible: Es casi imposible que se dé, pero podría presentarse.
Evolución (E)	1,0	Muy rápido (Menos de un día)
	0,8	Rápido (De un día a un mes)
	0,6	Medio (De un mes a seis meses)
	0,4	Lento (de seis meses a un año)
	0,2	Muy lento (más de un año)
Magnitud (M)	1,0	Muy severo (Daño permanente al ambiente)
	0,8	Severo (Daños serios pero temporales al ambiente)
	0,6	Medianamente severo (Daños menores pero permanentes al ambiente)
	0,4	Ligeramente severo (Daños menores al ambiente)
	0,2	Nada severo (Ningún daño al ambiente)
Duración (D)	1,0	Muy severo (Mas de un año)
	0,8	Larga (De 6 meses a un año)
	0,5	Moderada (De un mes a unos seis meses)
	0,3	Corta (De un día a un mes)
	0,1	Muy corta (Menos de un día)
a y b	7 y 3	Constantes
Calificación Ambiental (Ca)	8,0 a 10,0	Muy alta
	6,0 a 8,0	Alta

Tabla 3. Continuación

Componente	Valor	Descripción
Calificación Ambiental (Ca)	4,0 a 6,0	Media
	2,0 a 4,0	Baja
	0,0 a 2,0	Muy baja

Nota: Descripción para la valoración de los componentes de cada uno de los impactos identificados en el proyecto, cuyos valores al ser reemplazados en la fórmula de calificación ambiental, determinaran el nivel de importancia ambiental de cada impacto. Tomado de (Arboleda. G., 2005)

Una vez asignadas las valoraciones por componentes, estos se reemplazan en la ecuación de calificación ambiental descrita en la tabla anterior para determinar el nivel de impacto ambiental en un rango de muy bajo a muy alto.

8.2 Marco conceptual

Para la temática que se aborda en la investigación, es importante tener claro que las energías renovables dentro de las cuales la piezoeléctrica a pesar de no ser tan conocida hace parte, son aquellas que tienen capacidad de regenerarse por medios naturales y por lo tanto son inagotables, ejemplo de estas son las provenientes del sol, el viento, las mareas, las pisadas, entre otros (Rodríguez & Zambrano, 2010), contrario a las energías convencionales que actualmente se emplean en el mundo.

La energía piezoeléctrica posee un elemento clave para su funcionamiento llamados sensores piezoeléctricos, pues estos son dispositivos capaces de producir carga eléctrica como respuesta a una tensión mecánica (presión o vibraciones) (Cúpich & Elizondo, 2000). Respecto al tipo de energía generada por los sensores, cabe resaltar que existen diferentes tipos de corrientes, la alterna (AC) en la que la magnitud y dirección de la corriente varían cíclicamente consiguiendo una mejor eficiencia en la transmisión de la energía, esta es la electricidad que llega a nuestros hogares, y además genera las señales de audio y radio. La continua (DC) en cambio se caracteriza por un flujo continuo donde mantiene una polaridad constante, esta se usa por ejemplo en celulares, computadores, linternas, entre otros (Garrigós, 2011). Lo importante de conocer los anteriores términos y sus diferencias, es que la baldosa piezoeléctrica debe si bien funcionar para alguna de estas dos energías, o emplear un sistema en el que se puedan satisfacer los dos tipos de corrientes.

En cuanto a la eficiencia energética de este sistema de energía renovable, este se referirá a la relación entre la energía que se aprovecha y la energía usada, y como resultado de este estudio se intentara maximizar esta eficiencia energética ya sea por el uso de la forma primaria de energía o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía (Morales & Contreras, 2016)

Finalmente, como parte fundamental para la estimación de energía se necesita realizar aforos peatonales, los cuales nos dan a conocer el número de peatones que pasan por cada uno de nuestros puntos potenciales, contabilizando el número de personas que pasen por un punto determinado cada 15 minutos, y proporcionando como resultado el flujo de personas que pasan por nuestras baldosas. (Guío, 2009);

8.3 Marco Legal

Las energías renovables, están marcando un hito importante en el aprovechamiento de los recursos naturales sin la generación de impactos negativos en el ambiente, ayudando así, a suplir parte de la demanda energética mundial, mientras los recursos finitos en los que se encuentran sustentados la producción de energía actualmente (gas, carbón, petróleo, por nombrar algunas) quedan obsoletos por el inminente agotamiento.

Los países, al percatarse de esta problemática, donde el consumismo energético, están causando una contaminación ambiental grave, teniendo en cuenta su extracción y utilización; comenzaron a generar una inclusión importante de este tipo de energías limpias en sus políticas y normatividades.

Por ello, en el marco de estos grandes impactos en el ambiente, se creó el Protocolo de Kioto; este, fue un documento firmado en 1997, principalmente por los países industrializados, en el marco de la convención de las naciones unidas contra el cambio climático, celebrado en la ciudad de Kioto, Japón, que tenía como objetivos generar un compromiso obligatorio por parte de los países firmantes en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, volver más eficientes sus procesos industriales mediante la inclusión de nuevas tecnologías para cumplir con lo pactado,

promover la innovación e investigación y aumentar la implementación de energías renovables. (Naciones Unidas, 1997).

Colombia, en el marco de este protocolo no sería la excepción, debido a la promoción e incentivos que se generan para la implementación de estas energías limpias en el marco del plan energético nacional (Beltrán Gómez, 2016), estableciendo así distintas leyes y normatividades, enfocadas en el uso eficiente de las energías renovables.

Debido a esto, en Colombia se aprobó la ley 629 del año 2000, en donde se aprueba el protocolo de Kioto (Congreso de la República, 2000), como instrumento para buscar maneras más eficientes de aprovechar los recursos naturales y mitigar la problemática originada por el cambio climático, contando como una de las estrategias, la implementación de las energías renovables como una fuente de abastecimiento energético eficiente de cero emisiones.

Es por ello por lo que, en este país latinoamericano, la normatividad empezó a incluir en sus reglamentaciones, el uso de las energías renovables, además de sus entes reguladores. Es por esto, que se crean varias instituciones referentes al control, supervisión y reglamentación de estas fuentes de energía. En el informe N.3 presentado por la Cámara de comercio de Cali y Bioenergía (2016), se presentan las instituciones referentes en el sector eléctrico; allí se puede observar cómo el ministerio de minas y la presidencia de la república, poseen el orden jerárquico más alto en esta clasificación. La planeación y ejecución de proyectos enfocados a la utilización de energías renovables se les atribuye al CAPT (comité asesor de la transmisión) y a la UPME, que es el encargado de planear de manera eficiente el desarrollo minero energético nacional (UPME, 2018); en este sentido, se creó la CREG por parte del gobierno nacional, con la finalidad de regular la prestación de estos servicios de energía, además de promover el desarrollo de una manera eficiente de este sector (CREG, 2018).

En relación con las entidades mencionadas anteriormente, se enlaza un principio fundamental presente en La constitución política de Colombia sobre las cuales están basadas la creación de estas; el artículo 79, menciona el derecho que tienen todas las personas a gozar de un ambiente sano, por lo tanto, es deber del estado poder garantizar esta condición.

Así mismo, en el año 2001, se publicó la ley 697 de 2001, donde se fomenta el uso racional y eficiente de la energía (URE), además de promover e impulsar la investigación, creación y uso de las energías alternativas con el PROURE dispuesto por el ministerio de minas y energía.

Posteriormente, en el año 2002, se expidió la ley 788 de 2002; allí se da un incentivo a la venta de energías renovables, debido a que se les exime del impuesto de renta durante quince (15) años, si se obtienen los certificados de reducción de emisiones de carbono previstos en el Protocolo de Kioto, los cuales generan ingresos a los empresarios. No obstante, el 50% de estos ingresos tiene que destinarse a programas de beneficio social para gozar de la exención del impuesto (Giraldo Ocampo, 2017).

En el año 2007, se dictan algunas disposiciones mediante el decreto 2501, para promover prácticas con el fin de impulsar el uso racional y eficiente de la energía eléctrica. Esto, con el fin de garantizar y prevenir el uso de prácticas que puedan incidir a errores por parte de las personas que acceden a este recurso (usuarios); además de intentar evitar el riesgo medioambiental asociado a la utilización de recursos energéticos convencionales en la utilización de la energía eléctrica (Ministerio de Minas y Energía, 2007).

Por otro lado, en el marco del protocolo de Kioto, donde, como se mencionó anteriormente, su objetivo es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero por parte (en su mayoría) de los países industrializados; Colombia, que firmó el protocolo, en pro de la reducción de GEI, publica el documento CONPES en el año 2011, donde se menciona, evidencia y articulan diferentes políticas y acciones en pro de la mitigación del cambio climático y por ende, de las emisiones de GEI. (Departamento Nacional de Planeación, 2011).

Finalmente, en el año 2014, se expide la ley que le da entrada de forma contundente a las energías renovables en el marco de la energía a nivel nacional; la ley 1715, regula e integra al sistema energético nacional, toda aquella energía que se renovable no convencional. Esto, con el fin de promover el desarrollo y nuevas fuentes de este tipo de energía en el país, además de la reducción de GEI en el país (Congreso de Colombia, 2014).

9 Metodología

El diagnóstico sobre el uso de baldosas piezoeléctricas en la Universidad Santo Tomás de Aquino, sede Villavicencio, Campus Aguas Claras, tiene como finalidad, determinar la viabilidad y factibilidad de la implementación del prototipo, teniendo en cuenta los impactos sociales, económicos y ambientales proyectados a la generación de energías alternativas en la universidad.

Para el desarrollo y ejecución del proyecto se realizó una investigación exploratoria con información de clase mixta (cualitativo y cuantitativo) (Hernandez Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014), esto es debido a que la investigación presenta una recolección de datos en medición numérica y análisis estadísticos; además de una medición de datos referentes a impactos ambientales presentados por el proyecto. Allí se tomaron datos cuantitativos presentes en los valores de energía, aforos peatonales y costos monetarios; además de datos cualitativos enfocados a los impactos ambientales devengados de la producción procedente de las diferentes fuentes de energía.

La investigación se dividió en 3 fases, dividida, así:

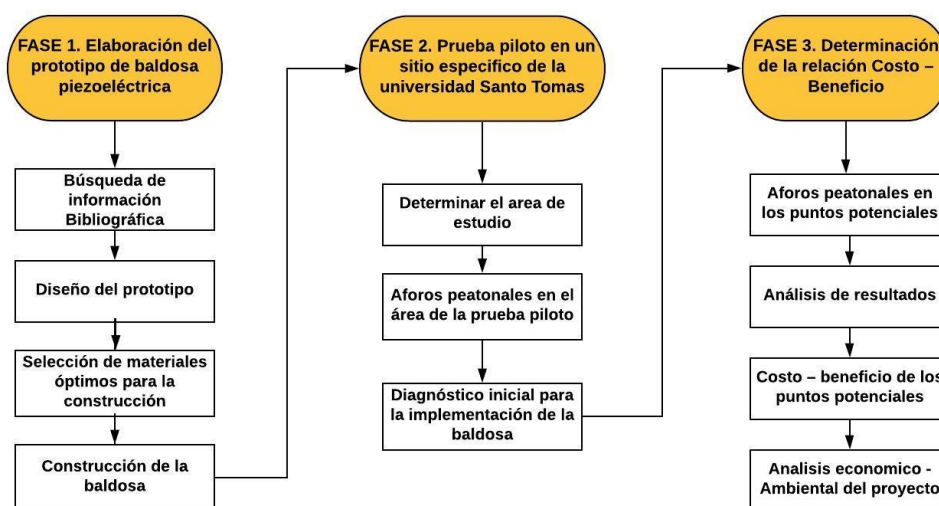


Figura 2. Esquema metodológico sobre las fases en las cuales fue dividida la investigación. Por Arévalo & Lamprea, 2019.

9.1 Fase 1. Elaboración del prototipo de baldosa piezoeléctrica

En esta fase, se obtiene como resultado final, la creación del prototipo de la baldosa; teniendo en cuenta, aspectos relevantes descritos a continuación:

9.1.1 Búsqueda de información bibliográfica

Inicialmente, se realizó una recolección de información secundaria en todas las bases de datos de acceso libre y restringido de la Universidad Santo Tomás incluyendo el repositorio de tesis, sobre los estudios y resultados que se han obtenido con la implementación de este efecto piezoeléctrico mediante el uso de tres palabras clave: “piezoelectricidad”, “piezoelectricity” y “baldosas piezoeléctricas”. Lo anterior, con el fin de adquirir un conocimiento más amplio sobre el efecto piezoeléctrico en baldosas, su función, aplicaciones, características y avances, permitiéndonos así desarrollar un diseño y prototipo propio para efectos de este proyecto.

9.1.2 Diseño del prototipo.

Gracias a la información adquirida anteriormente, se procedió a realizar la modelación del prototipo de la baldosa, para esto se realizó un diseño que fuera de fácil instalación y portátil, de tal manera que se pudiera posicionar sin ocasionar ningún daño a la superficie que se esté utilizando.

Se hizo uso del software SolidWorks para modelar gráfica y explícitamente las dimensiones y consideraciones ideales con los cuales se construyó el prototipo, tanto su parte interna (parte mecánica) como su parte externa (superficie y estructura), basados en la generación de energía de cada piezoeléctrico y su funcionamiento, las dimensiones promedio del pie adulto en Colombia y la generación de energía según la forma geométrica de la baldosa.

9.1.3 Selección de materiales óptimos para la construcción.

Con base al modelo realizado en el software SolidWorks, se procedió a la búsqueda de los materiales idóneos para la construcción de la baldosa piezoeléctrica, para lo cual se dividió la baldosa en tres partes: placa superficial, placas para los piezoeléctricos y el marco de metal.

Ya que para la placa superficial se buscaba fuera de un material reciclado, se plateo el uso de una matriz de decisión con los productos ofrecidos por distintas empresas llaneras y nacionales, considerando criterios como el costo, resistencia, mantenimiento, resistencia al deterioro ambiental y la disponibilidad. En cuanto a las placas para los piezoeléctricos, ya que estas se cortarían según las especificaciones de su diseño en una cortadora a laser, requerían de un material idóneo que no se cuarteara, quemara u ocasionara defectos en sus dimensiones. Finalmente para el marco de metal, la selección de materiales se hizo con base a la resistencia del material, pues este soportaría todo el contenido de la baldosa piezoeléctrica.

9.1.4 Construcción de la baldosa

Finalmente, después de encontrar los materiales óptimos, se procedió a la construcción y ensamblaje de las partes del prototipo obtenidas en el mercado con base al modelo diseñado, determinando el voltaje generado por el prototipo con cada pisada, la capacidad de la batería que se requeriría utilizar, y el tipo de corriente de nuestro sistema. Finalizando la construcción, se da apertura a la Fase 2.

9.2 Fase 2. Eficiencia energética del sistema piezoeléctrico.

Para determinar la eficiencia energética del sistema piezoeléctrico se realizó una prueba piloto en un sitio específico y controlado de la universidad, ya que permite garantizar valores más precisos de las variables a estudiar (Burgos Navarrete & Escalona, 2017), además de probar el prototipo a una escala más pequeña y controlada. Teniendo en cuenta lo anterior, inicialmente se buscó determinar el flujo peatonal en un sitio específico donde el número de pisadas sea mínimo, y el paso sea controlado, para obtener datos de comportamiento energético con un pico de flujo mínimo en un tiempo de 1 semana; allí se determinaron las condiciones energéticas y físicas de la baldosa; iniciando el 22 de abril de 2019 hasta el 26 de abril de 2019.

9.2.1 Área de estudio.

El lugar escogido fue el salón 103, del Bloque A, del Campus Aguas Claras. La entrada del salón funciona como un embudo, que restringe el área de paso al aula en 1 metro logrando así, asegurar

las pisadas en el prototipo situado en la parte interna del aula, justo después de abrir la puerta para el ingreso.

9.2.2 Aforos peatonales en el aula de clase.

Los aforos peatonales se realizaron, al mismo tiempo que se posicionó el prototipo en la entrada del salón. Esta metodología de aforos fue adoptada de la metodología para la elaboración del estudio de tránsito (Financiera de Desarrollo Nacional (FDN), 2017), hecha para la estructuración técnica del tramo 1 de la primera línea del metro de Bogotá (PLMB). La importancia de la realización de los aforos radica en poder determinar el comportamiento peatonal en días de flujo típico y atípico en cierto lugar (Fernandez Garza & Hernandez Vega, 2018), para efectos del estudio, ayudara a determinar el número de personas que pasan por un sitio. Para esto se toman los datos de flujo (en este caso peatonal) en un periodo de 15 minutos, en un tiempo de presencia peatonal normal, teniendo en cuenta, que, si se reinicia el conteo cada lapso de este tiempo, se evita el colapso de datos; aforando durante 1 día, por una semana, haciendo uso para este registro, la Tabla 3.

Tabla 4. Formato para el registro de flujo en los aforos

Fecha:	Nombre del punto:	
HORA	FLUJO	OBSERVACIONES

Nota: Se hizo uso de este formato para registrar el flujo de personas en el rango de tiempo ya estipulado. Por Arévalo & Lamprea, 2019.

Con los datos del flujo peatonal obtenidos en los aforos y la energía producida por pisada, se estimó la energía originada por este punto de estudio (Ecuación 4). Para el uso del salón, se gestionaron los permisos ante las autoridades administrativas de la universidad para el posicionamiento de la baldosa en el aula de clase, además de los datos de gasto energético mensual del salón. Una vez instalada la baldosa, se recolectaron los datos de energía generada diariamente, donde a su vez se compararon con el gasto energético realizado por el salón.

9.2.3 Diagnóstico inicial para la implementación de la baldosa

Con los datos obtenidos, se estableció un diagnóstico inicial. Para esto se tuvo en cuenta la relación entre, cuanta energía genera la baldosa, y cuanta energía gasta el aula.

Para ello, se realizó una búsqueda en las especificaciones de consumo de cada uno de los implementos que consumen energía en el salón, determinando cuantos kW/hora gasta cada uno; y además de cuanto costo monetario equivale tal consumo. Por último, se utilizaron los datos del precio mensual de mayo correspondiente al presente año, del kW/hora presente en la factura de energía, suministrados por la universidad, para determinar en función de costo/semana, la energía consumida por estos implementos y así relacionarlo con la energía generada en función de kW/hora por la baldosa, para por último tener una comparación inicial de energía.

9.3 Fase 3. Determinación de la relación Costo – Beneficio

Culminada la Fase 2, donde se determinó la energía promedio generada por pisada, además del comportamiento general del prototipo diseñado; se da paso a la última fase del proyecto.

9.3.1 Aforos peatonales en los puntos potenciales

Se procedió a determinar la relación costo – beneficio del proyecto mediante aforos y comparaciones entre el consumo energético de la Universidad y la energía generada por nuestro sistema de baldosas. Para ello, inicialmente se determinaron 2 puntos potenciales en el Campus Aguas Claras, donde visiblemente se evidencio que el flujo de personas es elevado en la jornada estudiantil, además se tomó en cuenta que estos sitios contaran con paso restringido (Embudo) para así aprovechar todas las pisadas de las personas, sin que se esparzan por toda el área adyacente, garantizando así energía constante y concentrada. Cabe resaltar, que el prototipo, no se posiciono en estos puntos escogidos, debido a que la amplitud del área es dispersa en comparación al tamaño de la baldosa, y se requieren de 2 o más prototipos para cubrir el área de los puntos potenciales y así recolectar la energía. Con respecto a esto, la energía generada por cada punto potencial se determinó por el flujo peatonal, con el promedio de energía que se genera por pisada, utilizando la ecuación 1.

Para el punto potencial 1, se utilizó la metodología usada en la prueba piloto, donde se contó y se registró el paso de las personas; con la única diferencia de que el tiempo de muestreo fue de 4 semanas; por otro lado, para el segundo punto potencial, se hizo uso de los registros de datos pertenecientes a los torniquetes de la entrada peatonal de la universidad; de igual manera que el punto anterior, solo se tomaron en cuenta los datos de las mismas 4 semanas; esto se debe, a que después de este tiempo los datos entran en un proceso de generalización, donde los datos empiezan a tomar patrones y tendencias.

9.3.2 Análisis de resultados

Se procedió a determinar los valores diarios del flujo peatonal en los puntos potenciales durante las 4 semanas de muestra. Siguiendo a esto, se buscó optimizar la producción de energía en cada uno de los puntos potenciales, por el cual, se establecieron áreas donde fuera posible posicionar varias unidades de baldosas y así determinar el valor de energía en cada una de estas y, por último, se realizó una proyección de cuanta energía se generó en cada punto, durante el semestre.

9.3.3 Indicadores económicos.

Para esto, se realizó la estimación de consumo de energía (2019-2023) y ahorro respectivo en el Campus Aguas Claras, con la implementación de las baldosas en los puntos potenciales; para esto, se solicitó a la Vicerrectoría académica, los datos de gasto energético hecho por la Universidad en los últimos 5 años, para así hallar la tendencia de crecimiento; además de esto, se estimó la energía generada por los dos puntos potenciales en todo el sistema de acuerdo al flujo peatonal determinado en la fase anterior, teniendo cuenta también, la variación de este en el tiempo.

Finalmente, con base a los resultados anteriores, se usó la fórmula de beneficio – costo (RBC), el valor presente neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de recuperación de la inversión (PR), las cuales serán halladas y analizadas mediante el software Excel, para así determinar la viabilidad de la implementación del sistema de baldosas piezoeléctricas propuesto en la investigación, para la Universidad Santo Tomás Campus Aguas Claras.

9.3.4 Análisis beneficio Ambiental

Para esta sub-fase, se realizó una matriz de impacto ambiental (EPM o Arboleda) con el fin de determinar los riesgos e impactos que generaría la implementación de las baldosas, y compararlo con los impactos generados por la energía convencional (hidroeléctricas) de la cual se abastece actualmente la universidad, para ello se realizó la matriz de EPM calificando según los criterios de la tabla 2, los impactos generados en el sistema biótico, abiótico y socioeconómico.

Además, se estimó la reducción de las emisiones de CO₂ generado por la implementación del proyecto, basados en la metodología de la UPME, en donde se estiman los factores de emisión del sistema interconectado nacional para aplicarlos a proyectos de desarrollo limpio, cálculo de la huella de carbono e inventarios de emisiones GEI. Una vez determinado el factor de emisión este se multiplicó por la energía generada por el sistema piezoeléctrico propuesto y así obteniendo la reducción de co2 con la implementación de este sistema.

10 Resultados y análisis

10.1 Elaboración del prototipo de baldosa piezoeléctrica

10.1.1 Búsqueda de información bibliográfica

Durante el desarrollo del proyecto, ya que se trata de un tipo de energía renovable relativamente nuevo y poco estudiado en comparación a otros tipos de energía, fue de suma importancia la recolección de información confiable que diera fundamento y veracidad a los resultados del proyecto. Esta recolección consistió principalmente de la búsqueda de artículos relacionados en bases de datos del área de ciencia, ambiente y tecnología de la Universidad Santo Tomás como Oxford University Press, Sage journals, Scopus, Springer Link, Nature, Springer E-books, Taylor & Francis Group, además de bases de datos de acceso libre como Dialnet, Redalyc, Agrinter, ERIC, Scielo, SIDALC, Cepal, Miguel de Cervantes, OARE, BVS, DOAJ, UNESCO, y el repositorio de tesis de la Universidad Santo Tomás Colombia.

Para la búsqueda de información pertinente en estas plataformas se utilizaron tres palabras claves: “baldosas piezoeléctricas”, “piezoelectricidad” y “piezoelectricity”, de las que se obtuvieron los siguientes resultados (Figura 3 y 4):

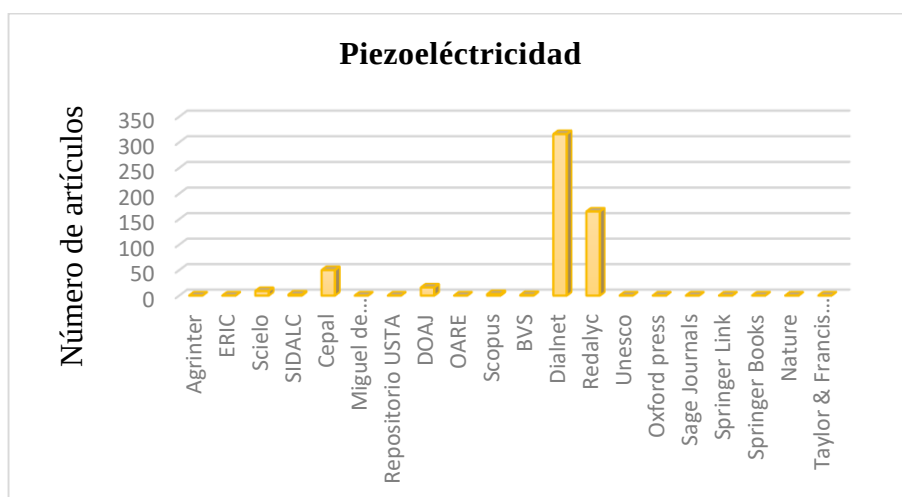


Figura 3. Número de artículos encontrados para cada base de datos utilizando como palabra clave: “piezoelectricidad”. Por Arévalo & Lamprea, 2019

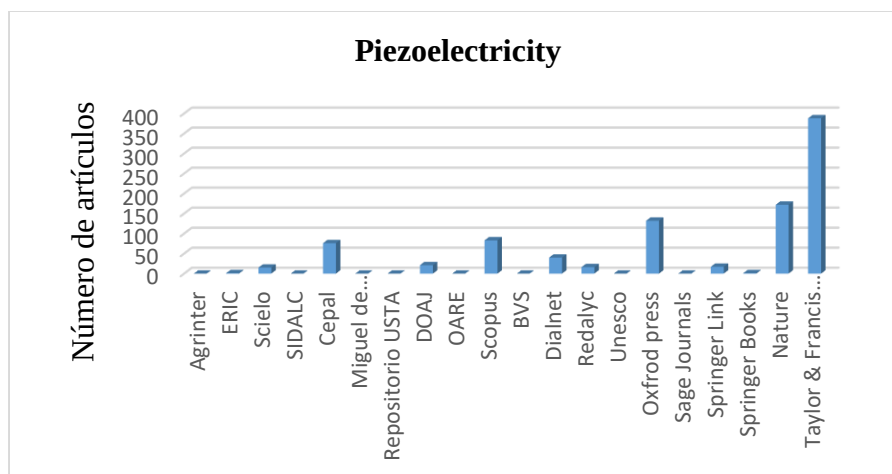


Figura 4. Número de artículos encontrados para cada base de datos utilizando como palabra clave: “piezoelectricity” Por Arévalo & Lamprea, 2019

Respecto a lo anterior, pudimos observar cómo existe poca literatura sobre el tema piezoeléctrico para la palabra clave “piezoelectricidad” con un total de 562 artículos en 8 de las 20 bases de datos consultadas, caso contrario con los resultados en inglés con 962 artículos en 12 de 20 bases de datos, cabe aclarar que para el caso de la palabra clave “baldosas piezoeléctricas” no se encontró ningún resultado. Al analizar los datos anteriores se pudo observar que no todos los artículos encontrados eran pertinentes con el trabajo de investigación, pues la mayoría de los ellos iba dirigidos a disciplinas de medicina, ingeniería biomédica, conservación de hábitat y tecnología. Por lo tanto, se realizó una revisión exhaustiva del total de los artículos encontrados anteriormente (1524 artículos) para determinar la cantidad de artículos realmente pertinentes y de utilidad para este trabajo (Figura 5).

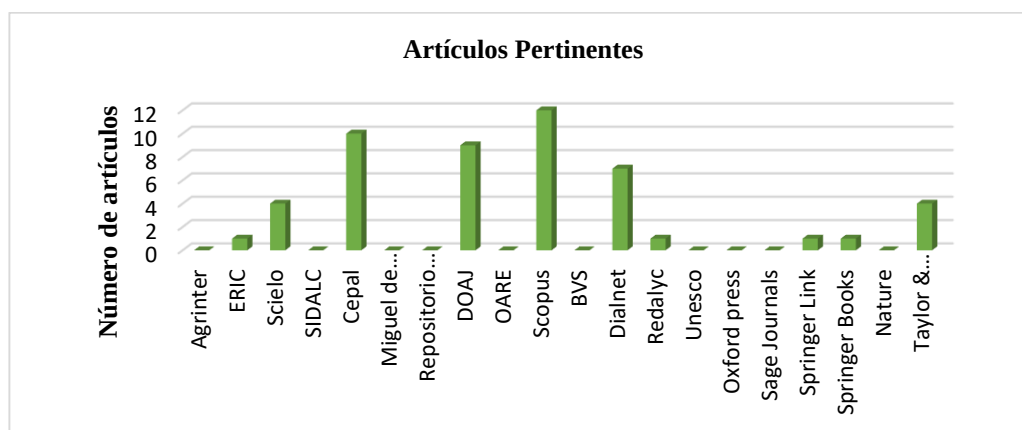


Figura 5. Número total de artículos pertinentes para el proyecto, después de excluir los artículos de otras disciplinas contrarias al tema principal. Por Arévalo & Lamprea, 2019

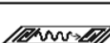
Como se puede observar en la gráfica anterior, el número de artículos pertinentes para este trabajo disminuyó drásticamente de 1524 artículos a solo 50 que van desde el 2001 hasta el 2019, ya que el uso del efecto piezoeléctrico en esta aplicación (baldosas) es poco conocido, relativamente nuevo o no se encuentra disponible en este tipo de plataformas.

10.1.2 Diseño de la baldosa.

Para el diseño de la baldosa piezoeléctrica con base en la información recolectada, se hace necesaria la colaboración y participación de un ingeniero electrónico con quien en conjunto se desarrolló el diseño a través del programa Solidworks, ya que este posee las herramientas necesarias para lograr un nivel de detalle adecuado (Solidworks corporation, 2019) asegurando así la correcta cohesión de todos los elementos y la generación de energía por medio de la presión ejercida.

Como paso preliminar para el diseño, se determinó la forma geométrica más apropiada para este prototipo tomando en consideración que todos los dispositivos que empleen la tecnología piezoeléctrica, se pueden optimizar de acuerdo con la forma seleccionada, ya que de esta depende la frecuencia generada (Tabla 4) (Kour & Charif, 2016).

Tabla 5. Frecuencia generada según la forma geométrica de la placa

Vibration Mode		Frequency (Hz)						
		1K	10K	100K	1M	10M	100M	1G
Flexure Vibration								
Lengthwise Vibration								
Area Vibration								
Radius Vibration								
Thickness Shear Vibration								
Thickness Trapped Vibration								
Surface Acoustic Wave								
BGS Wave								

Nota: Muestra cómo se distribuye la vibración en una superficie dependiendo su forma y el rango de frecuencia (Hz) que es capaz de generar. Tomado de (Kumar, 2013)

Una vez seleccionada la forma geométrica, se procedió a establecer las dimensiones de la baldosa tomando en consideración tres criterios: el primero que fuera lo suficientemente amplia como para asegurar que el peatón pise adecuadamente y pueda posicionar sus dos pies cómodamente según las dimensiones antropométricas del pie de la población adulta colombiana (Figura 6), el segundo que se pudieran disponer el mayor número de sensores piezoeléctricos posibles para maximizar en la medida de lo posible la generación de la energía eléctrica considerando sus dimensiones y capacidad de generación de energía (Figura 7), y el tercero que la superficie de la baldosa fuera de algún material plástico reciclado.

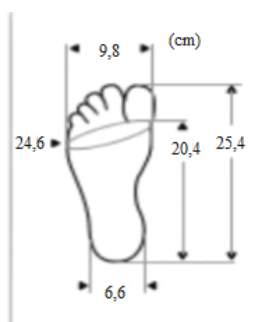


Figura 6. Dimensiones del pie adulto masculino y femenino de la población Colombiana. (Ávila, Prado, & González, 2007). Modificado por Arévalo & Lamprea, 2019.

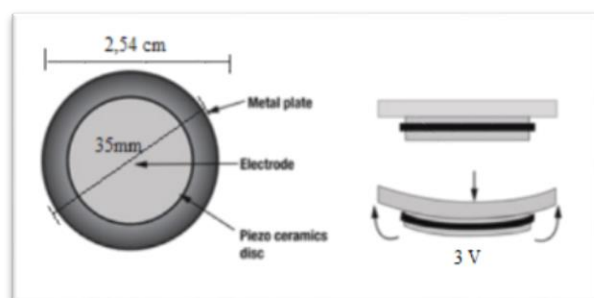


Figura 7. Dimensiones del sensor piezoeléctrico usado y su generación de energía. (Theremino, sf). Modificado por Arévalo & Lamprea, 2019.

Finalmente, habiendo tomado en consideración los criterios de diseño para la baldosa piezoeléctrica, se obtiene como resultado una baldosa cuadrada de 41cm x 41cm que en su interior posee 41 piezoeléctricos distribuidos en serie, una placa de material plástico reciclado de 40cm x 40cm y 2,20cm de grosor en su superficie, y una placa de metal que contiene todos los anteriores (Figura 8).

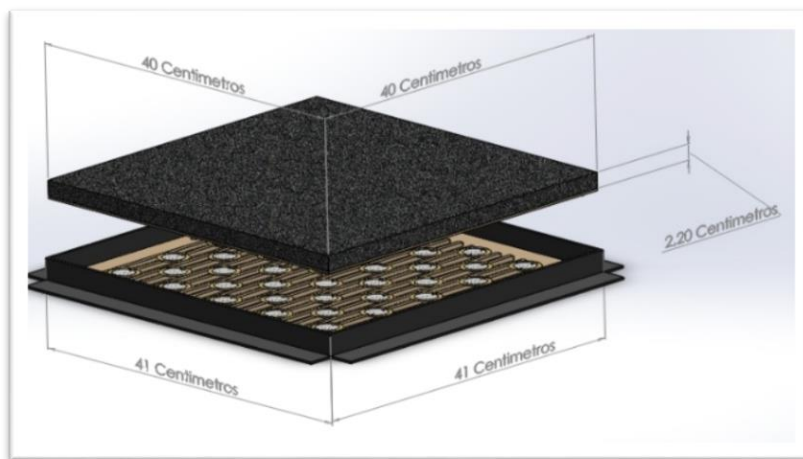


Figura 8. Diseño final de la baldosa piezoeléctrica. Hecho en Solidworks por Arévalo, Lamprea & Pérez, 2019.

Cabe resaltar que para asegurar que la presión ejercida por cada pisada llegue directamente a los piezoeléctricos, estos se dispusieron sobre su centro en nueve filas de 1,65cm de ancho para que con la presión, otras 10 filas de 0,55cm dispuestas en una placa debajo de la de plástico reciclado hagan contacto con los bordes de los piezoeléctricos como se muestra a continuación (Figura 9):

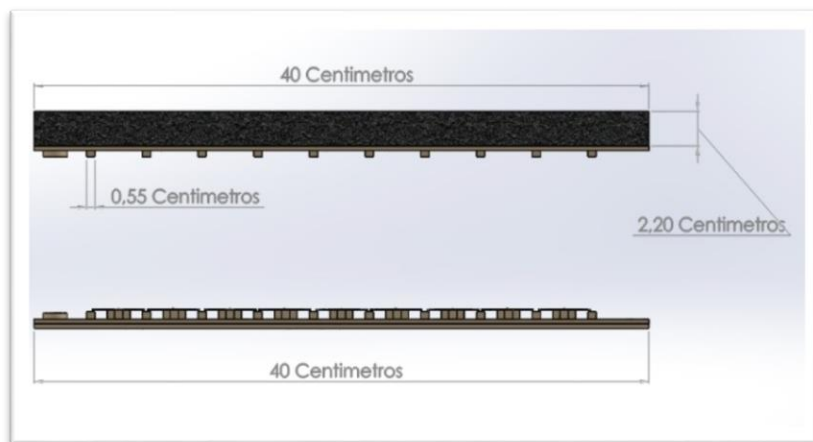


Figura 9. Distribución de los piezoeléctricos para asegurar su contacto con la presión ejercida. Hecho en Solidworks por Arévalo, Lamprea & Pérez, 2019.

10.1.3 Selección de materiales óptimos para la construcción

Una vez se obtuvo el diseño final, se determinaron los materiales más idóneos para el ensamblaje de la baldosa dividiendo está en tres partes: la primera la placa superficial de material

reciclado, la segunda las placas que sostienen y presionan los piezoeléctricos, y por último el marco de metal que contendrá el contenido de la baldosa.

10.1.3.1 Placa superficial.

Ya que para este proyecto era de suma importancia la inclusión de algún material reciclado, para la placa superficial se consideraron como alternativas los diferentes productos ofrecidos por tres empresas, una de la ciudad de Bogotá y las otras dos de la ciudad de Villavicencio, a pesar de que existen más empresas, solo obtuvimos respuesta de la cotización de estas tres:

- Integración Ambiental Ltda.: Esta empresa llanera ofrece una placa elaborada con materiales reciclados de residuos plásticos, compuesta por 30% polipropileno, 30% Polietileno de alta densidad y 40% Polietileno de baja densidad que cumple con los parámetros de protección ambiental, antisísmico, resistente pues según las pruebas de laboratorio resisten hasta 413 Kg, impermeable, aislante térmico y eléctrico y además resiste el contacto con sustancias químicas. Su precio por placa de 40x40 cm es \$15000.
- Plásticos de la sabana: Esta empresa con sede en la ciudad de Villavicencio, ofrece pisos a partir de caucho reciclado a prueba de impactos y cortes, resiste a una temperatura de hasta 65 °C, resistencia de un peso máximo de 70 Kg/cm, buen aislamiento y baja abrasión. Es impermeable, aunque se debe evitar el contacto de sustancias químicas para su limpieza pues pueden dañar la placa de caucho. Su precio por placa de 40x40 cm es de \$25000.
- Plásticos Acevedo Ltda.: Esta empresa ubicada en la ciudad de Bogotá, nos ofrece madera plástica, que es un material elaborado con plástico recuperado, lo que lo hace más resistente y durable a las condiciones ambientales que la madera natural, es impermeable, resistente a la humedad y solventes químicos, inmune a hongos, bacterias o plagas, no se raja ni se astilla, y no necesita selladores para alargar su vida útil, con una resistencia de hasta 400 kg. Su precio por placa de 40x40 cm es de \$20000.

Una vez obtenidas las cotizaciones y fichas técnicas de los materiales que teníamos disponibles, se procedió a escoger la mejor alternativa para nuestro proyecto en la matriz de decisión (Tabla 5) acorde a los siguientes criterios:

- Costo: El precio de venta de la placa es viable y accesible
- Disponibilidad: Se refiere a la accesibilidad del producto, si este se encuentra en la región o es necesario traerlo desde otra ciudad.
- Mantenimiento: Que su limpieza y mantenimiento requerido no sean constantes y además que estos sean sencillos.
- Resistencia al deterioro ambiental: Este considera que el producto resista los fenómenos ambientales como lluvia, sol, viento y polvo, ya que estarán instaladas en exteriores.
- Resistencia: El peso máximo que resiste la placa según las pruebas de resistencia.

Para cada uno de estos criterios se asignó un porcentaje de acuerdo con su importancia a la hora de seleccionar la mejor alternativa, y se califica de 1 a 5 donde 1 es insatisfactorio y 5 satisface totalmente.

Tabla 6. Matriz de decisión para la selección del material para la placa superficial de la baldosa piezoeléctrica.

Porcentaje	Criterios	Alternativas	Placa de caucho reciclado	Placa de madera plástica
		Placa plástica (30% PP, 30% PEAD y 40% PEBD)		
40%	Costo	5	1	3
8%	Disponibilidad	5	5	3
10%	Mantenimiento	5	3	5
22%	Resistencia al deterioro Ambiental	5	4	5
20%	Resistencia	5	5	5
100%	Total	5	2,98	4,04

Nota: Se evaluaron cada una de las alternativas de placas de material reciclado, ofrecidos por las tres empresas que dieron respuesta a la cotización, con base a las fichas técnicas suministradas para cada uno y teniendo en cuenta cada criterio con su porcentaje de importancia. Por Arévalo & Lamprea, 2019

Como se observa en la matriz anterior, la mejor alternativa para usar en la placa superficial de la baldosa es el que nos suministra la empresa integración ambiental Ltda., pues posee la mayor calificación en todos los criterios tomados a consideración, ya que su costo en consideración a las otras opciones es más bajo, además de estar ubicados en la ciudad de Villavicencio por lo que tiene una alta disponibilidad sin tener costear con él envió desde otra ciudad, su mantenimiento es muy sencillo, poco constante y puede hacerse usando las sustancias convencionales de limpieza. Su resistencia al deterioro ambiental es excelente pues es aislante térmico y eléctrico, impermeable, no permite la proliferación de hongos y bacterias y su resistencia al peso es la necesaria para manejar flujos peatonales.

10.1.3.2 *Placas para piezoeléctricos.*

En cuanto a estas placas que se encargan de que la presión de las pisadas llegue directamente a los piezoeléctricos, se requiere cumplir con el diseño propuesto de manera óptima y precisa, por lo que se realizó mediante una cortadora a láser en placas de MDF (madera de fibra de densidad media), ya que a pesar de que estas cortadoras láser funcionan con casi cualquier tipo de superficie, este material posee mayores ventajas desde el punto de vista técnico (Trotec laser GmbH, 2019).

Las ventajas de usar MDF son muchas, este tipo de madera es muy resistente, de textura fina, fácil de usar y mantener, es homogénea, puede ser tratada contra el fuego, impermeabilizada, teñida, tiene larga durabilidad, no se agrieta, no se deforma, es isotrópica y es más económica en comparación a otros materiales como la madera natural. Todas sus características permiten que se pueda cortar con facilidad, alta precisión y exactitud, pues genera menos ruptura y desperdicio en los cortes, lo que lo convierte en el material más idóneo para estas placas. (Sculpteo, 2009).

10.1.3.3 *Marco de metal.*

El material usado para el marco que contiene todos los elementos de la baldosa debía ser muy resistente, por lo que el acero (combinación de hierro y carbono) fue la opción más indicada debido a que posee excelentes características como su bajo peso, alta resistencia, tenacidad y duración a través del tiempo, posible reutilización después de desmontada la estructura y fácil soldadura. A pesar de estar características idóneas, este material posee una desventaja en cuanto a

que es susceptible a la corrosión, por lo que debe cubrirse periódicamente con pintura anticorrosiva. (Rojas, 2007)

10.1.4 Construcción de la baldosa.

Cumpliendo las especificaciones del diseño establecido y de la selección previa de materiales, se dispuso a la construcción de la baldosa piezoeléctrica (Figura 10), incluyendo también la parte de conversión de energía mediante una tarjeta electrónica y almacenamiento de energía en una batería de 3,7 V, obteniendo una baldosa que posee un tipo de corriente DC, una generación de energía simulada de 0,003 W, una vida útil de aproximadamente 10 años, aunque requiere de revisiones mensuales para asegurar el buen funcionamiento de los sensores piezoeléctricos.



Figura 10. Baldosa piezoeléctrica construida según el diseño y materiales seleccionados. Por Arévalo, Lamprea & Pérez, 2019.

10.2 Eficiencia energética del sistema piezoeléctrico.

Inicialmente, en la prueba piloto se evidenció un cambio representativo que afectaría todo el análisis de ahora en adelante, y es el cambio del valor energético por pisada; en campo se evidenció que el valor promedio ascendía con respecto al peso de la persona, elevándose de 0,003 W a 0,0072 W, como se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 7. Relación del peso con respecto a la energía por pisada.

Peso persona (Kg)	Energía producida (W)
>49	0,0058
50 – 65	0,0063
66-80	0,0079
<81	0,0088
Promedio	0,0072

Nota: Para determinar los valores de energía, se hizo uso de 40 personas diferentes que ingresaban al aula, preguntándoles su peso corporal. Por Arévalo & Lamprea, 2019

10.2.1 área de estudio.

Ahora bien, con la creación de la baldosa, se procedió a seleccionar un salón del Campus Aguas Claras, que, aunque se puede deducir el número de pisadas con tan solo el horario del salón, este dato no sería fiable, debido a que existe mucha población flotante, por factores tales como las salidas al baño, contestar una llamada o simplemente mientras esperan el docente. Con el fin de probar el prototipo en un ambiente de flujo controlado, se solicitó ante los entes administrativos de la Universidad, la asignación de un salón en donde se realizaría la implementación momentánea del prototipo.

El salón asignado para esta prueba piloto fue el 103 del bloque A, ubicando el prototipo en la entrada del salón (Figura 11), debido a que es la única área de ingreso y salida presente, y por tal motivo, es el único lugar donde se concentran todas las pisadas del lugar.



Figura 11. Ubicación de la baldosa en el Aula de la prueba piloto, Por Arévalo & Lamprea, 2019

10.2.2 Aforos peatonales.

Siguiente a esto, se realizaron los aforos peatonales en el aula para determinar la cantidad de pisadas y la energía generada a partir de las mismas; para ello, se utilizó el formato de registro de flujo peatonal (Tabla 3) durante una semana. En la Figura 12 se observa el número de pisadas que se obtuvo en cada uno de los días de aforos, siendo el miércoles, el más transcurrido con 537 pisadas, por el contrario, el viernes no presento tanta afluencia, con 266 pisadas, esto es debido a que, en el horario de 12:00 pm a 2:00 pm, no hay clase, por lo tanto, los pasos son prácticamente nulos en este tiempo.

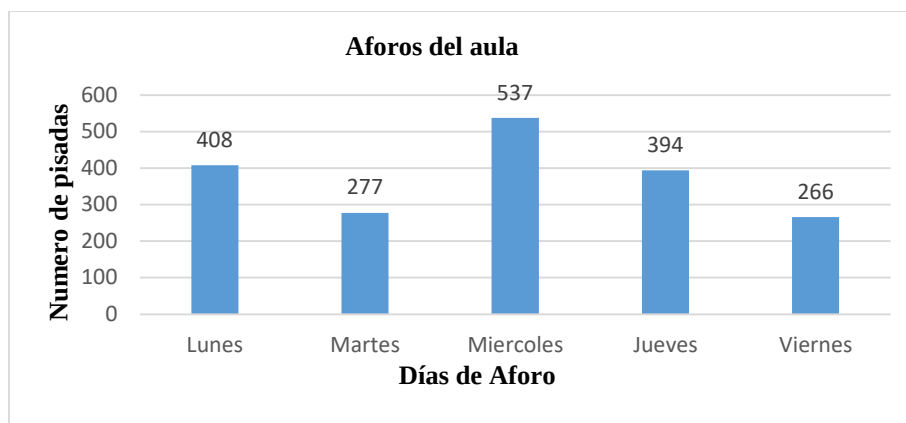


Figura 12. Aforos pertenecientes al aula en la prueba piloto. Por Arévalo & Lamprea, 2019

Por último, en la Tabla 7 se muestra la aplicación de la Ecuación 4, donde se tomaron las 1882 pisadas que sufrió el prototipo diariamente durante la semana de muestreo y se multiplicaron por 0,0072 de energía promedio que genera la baldosa.

Tabla 8. Energía generada por la baldosa en la semana de toma de aforos.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Pisadas	408	277	537	394	266
Vatios/día	2,9376	1,9944	3,8664	2,8368	1,9152
Vatios/semana	13,5504	kW/semana	0,0135504	Total pisadas	1882

Nota: Se tomaron los datos de las pisadas diarias y se multiplico por 0,0072 que es el valor de energía generada por pisada. Por Arévalo & Lamprea, 2019

Por último, teniendo en cuenta los días muestreados en el aula, en la Figura 13 se plasma, la energía generada, con respecto a las pisadas diarias; esta se encuentra en función de vatios producidos. Allí se representa lo calculado en la Tabla 7.

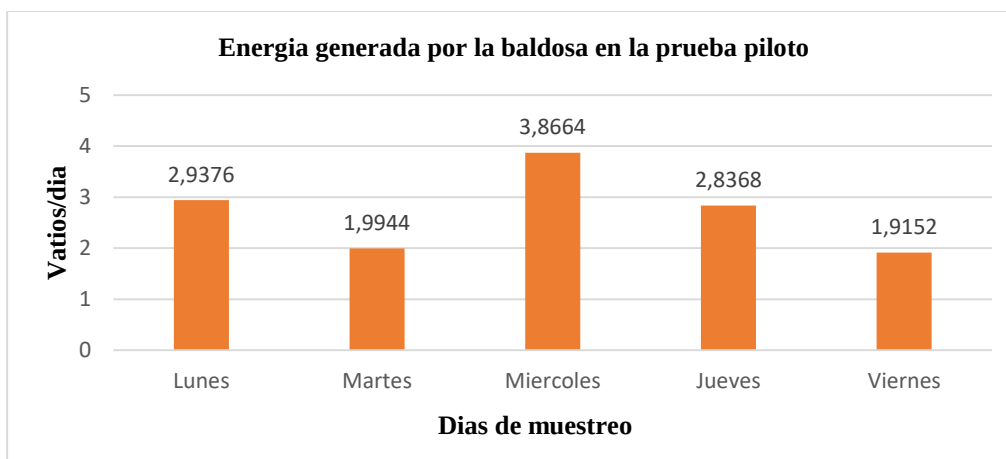


Figura 13. Energía generada en la prueba piloto. Por Arévalo & Lamprea, 2019.

Debido a la hora de clase que no se tomó en el salón de 12:00 pm a 2:00 pm, el viernes presenta valor más bajo con 1,9152 Vatios, con respecto a los demás días; el miércoles, por el contrario, se presentó con más energía (3,8664 Vatios) teniendo en cuenta que, en este día, las clases cuentan con un número de estudiantes más elevados que los demás.

10.2.3 Diagnóstico inicial para la implementación de la baldosa.

Por último, para culminar la fase, se obtuvo el valor de energía que gasta el aula en la jornada aforada (6:00 am – 6:00 pm). Para ello, se consultó estos valores de energía según las especificaciones técnicas de cada uno de estos equipos por hora, que se encuentra en el salón. Como se puede observar en la Tabla 8, el gasto energético generado por el salón en de 157,44 kW/semana (5 días), con un valor de \$56.726 pesos colombianos.

Tabla 9. Gasto energético perteneciente al aula de la prueba piloto.

	Aire Acondicionado invertir	Lámpara Silvania	Televisor LG 55 pulgadas	Total
Unidades	1	16	1	18
w/hora	1900	28	276	2204
kW/hora	1,9	0,028	0,276	2,204
kW/hora Total	1,9	0,448	0,276	2,624
kW/día (12 horas)	22,8	5,376	3,312	31,488
kW/semana (5 días)	114	26,88	16,56	157,44
\$kW/día	\$8.215	\$1.937	\$1.193	\$11.345
\$kW/semana	\$41.074	\$9.685	\$5.967	\$56.726

Nota: Se determinaron los valores del gasto energético provenientes del aula de la prueba piloto, y a su vez se multiplico por el valor del kW/hora, que paga la universidad por el servicio eléctrico. Por Arévalo & Lamprea, 2019.

Para determinar el valor del kW/hora con el cual se realizó el cálculo del gasto monetario del salón mientras estuvo presente la baldosa; se tomó el precio del kW/h de la factura energética de la universidad para el mes de abril (360,3 pesos) del presente año; esto debido a que en este tiempo fue que el prototipo estuvo posicionado en el aula.

Finalmente, se procedió a realizar la comparación energética entre lo que gasta el salón (Tabla 8) y lo que produce la baldosa (Tabla 7); para ello se tomó el número de kW/semana de los dos casos y se determinó el porcentaje de ayuda energética con el cual aporta la baldosa al consumo del salón.

Allí, se tomó el valor del consumo energético semanal (157,44 kW/h) como 100%, y se utilizó una regla de 3 (Ecuación 6), donde se determinó que la energía generada por la baldosa (0,0000072 kW/h) equivale al 0,000003%.

$$\% \text{ de reducción de energía} = \frac{0,0000072 \frac{\text{kW}}{\text{h}} * 100\%}{157,44 \frac{\text{kW}}{\text{h}}} = 0,000004\% \quad (\text{Ecuación 5})$$

En la ecuación 6, se puede observar que la ayuda generada por el prototipo al consumo semanal del salón es de menos del 1%. Esta energía puede aportar al consumo energético que demanda las lámparas o alguno de los otros implementos del salón.

Es importante resaltar, que, aunque la producción independiente del sistema de la baldosa es baja; la producción semanal es baja debido al bajo flujo peatonal que posee el aula, en comparación a otros lugares de la universidad.

Además de esto, los resultados de la prueba piloto dieron un impacto positivo en cuanto a la resistencia del prototipo, de las 1882, pisadas que tuvo a la semana, en ninguno de los casos sufrió alguna avería, ni problema mecánico; los piezoeléctricos funcionaban a su capacidad, y la parte superficial de plástico protegió el sistema de las pisadas. Al momento de cada pisada, la baldosa sufre una inflexión de 5 mm, siendo imperceptible para el peatón.

10.3 Determinación de la relación Costo – Beneficio.

Al finalizar la etapa 2, donde se evidencio el funcionamiento estable de la baldosa, pero con un diagnóstico inicial bajo, en cuanto a la producción de energía por Vatios en función de cada pisada, se procede a estimar en esta última fase de la investigación, la relación costo-beneficio generada por el proyecto.

10.3.1 Aforos peatonales

Inicialmente se escogieron los 2 puntos potenciales, donde se evidenciará el mayor flujo peatonal y es restringido el paso; estos fueron: antes de subir la rampa que conecta con el lobby de la universidad y los 5 cubículos de los torniquetes. La ubicación de estos puntos se debe a que, todas las personas que no entran en vehículo a la universidad obligatoriamente tienen que pasar por estos puntos.

Con respecto a lo anterior, para esta fase, como se mencionó en metodología, no se posicionará el prototipo debido a que se necesitan más de una unidad para cubrir el área presente en los puntos potenciales.

Para los aforos peatonales, se tomaron de igual manera como los del aula en la prueba piloto, con la diferencia que allí se tomaron datos de 4 semanas (1 de abril-3 de mayo), cabe resaltar que, en el mes de abril, no se tuvo clase en la semana santa, por lo tanto, se tomó una semana más para completar las 4 semanas de aforo. Ahora, al analizar el comportamiento de los dos flujos de los puntos potenciales durante este tiempo, este se tornó en un proceso de generalización, lo cual indica, que después de tener datos en un tiempo, se comienzan a generar tendencias y patrones en los registros (Rojas Garzon & Vergel Causado, 2013), explicándose así, el tiempo aforado.

Para el punto potencial, que queda ubicado antes de llegar al lobby, el comportamiento presentado en el tiempo aforado fue el siguiente: En la Figura 14 se observa el comportamiento de las 4 semanas aforadas, allí se evidencia que el lunes de la semana 4 conto con el mayor número de pisadas de toda la recolección de datos correspondiente a ese punto con 4821 pisadas.

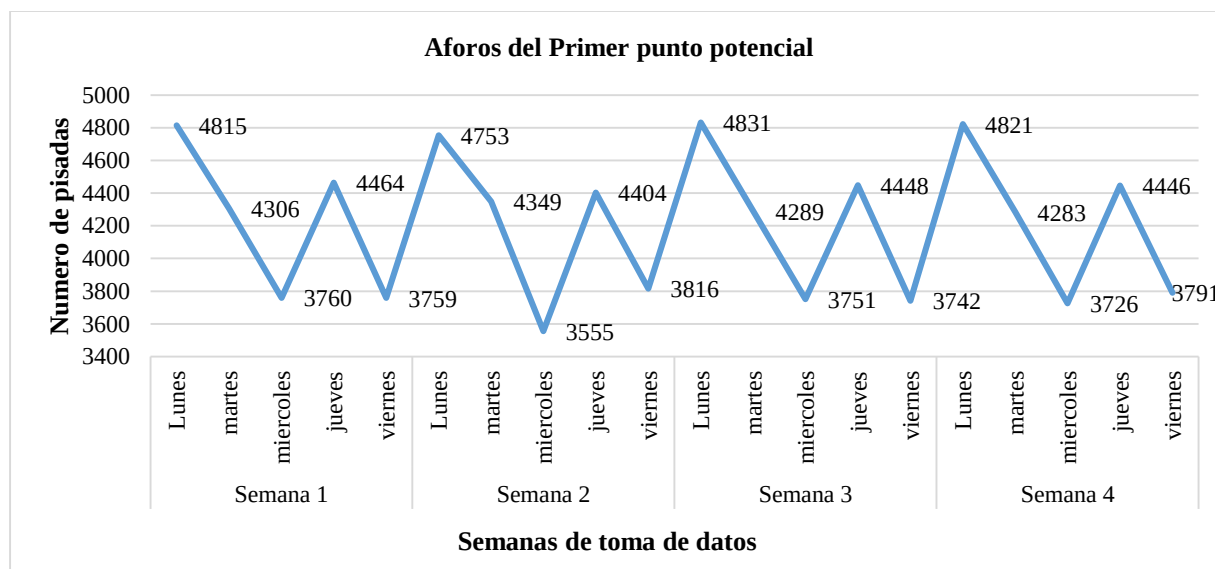


Figura 14. Aforos del punto potencial de la Rampa. Por Arévalo & Lamprea, 2019.

Por lo contrario, también se puede evidenciar el bajo flujo del miércoles de la semana 2, contando con tan solo 3555 pisadas, una menos que el miércoles de la misma semana. Al igual que la fase anterior, se tomaron datos de flujo, cada 15 minutos, de 6:00 am-6:00 pm.

Por otro lado, los datos tomados en el segundo punto potencial (portería peatonal), se dividieron en los 5 carriles que este posee, tanto para entrar, como para salir; para ello, se obtuvieron los datos del sistema enlazados a los 5 torniquetes posicionados para el acceso de personal autorizado (Estudiantes, directivos, entre otros), para este caso, los datos se tomaron de forma diaria y posteriormente semanal, ya que se pudieron obtener de forma sistemática. En la Figura 15, se evidencia el comportamiento peatonal en las 4 semanas de toma de datos, allí, en la semana 3, se presenció un flujo de 5470 personas por el carril 3, siendo este el más elevado. Opuesto a lo anterior, la semana 2 por el carril 5, obtuvo el número pisadas más bajo con 3360.

Cabe recordar, que los aforos peatonales realizados en estos puntos potenciales nos ayudaron a determinar, cuanta energía se generaría en cada uno, además de las baldosas necesarias para lograr esta electricidad.

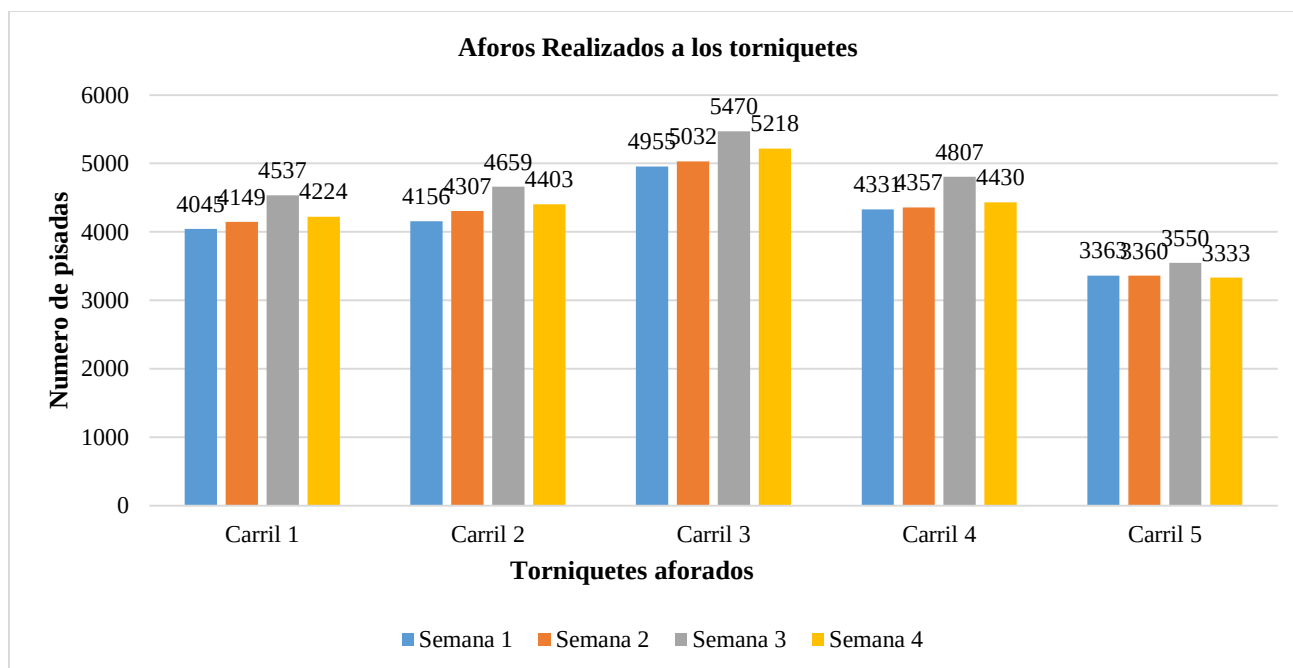


Figura 15. Aforos del punto potencial de los torniquetes. Por Arévalo & Lamprea, 2019.

10.3.2 Análisis costo- beneficio

Para conocer el ahorro energético y monetario de la implementación de baldosas piezoeléctricas en la Universidad Santo Tomas Villavicencio, es necesario conocer el consumo energético mensual y anual, así mismo como la generación de energía del sistema propuesto.

10.3.2.1 Consumo energético del Campus Aguas Claras

Para conocer el consumo energético del campus Aguas Claras, se solicitó a Vicerrectoría Administrativa los datos de consumo y el costo pagado por mes vencido desde el año 2014 hasta marzo de 2019. A partir de esto se estableció el histórico del consumo energético mensual en KW/hora del Campus Aguas Claras (Figura 16) de la siguiente manera:

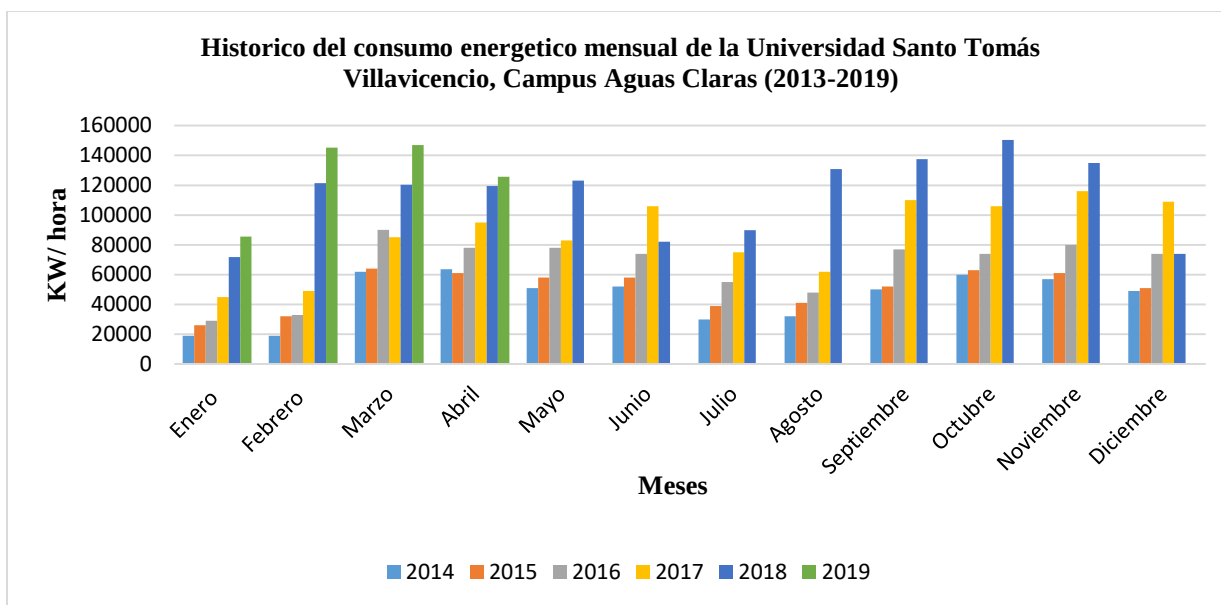


Figura 16. Histórico del consumo energético mensual en los años (2014-2019) en la universidad Santo Tomas Villavicencio, Campus Aguas Claras. Por Arévalo & Lamprea, 2019.

Respecto a la figura anterior, se puede observar el comportamiento anual de la demanda energética del Campus Aguas Claras, siendo Enero, junio, julio y Diciembre los meses con menor requerimiento energético debido a que son los meses de receso académico, y solo recibe al personal administrativo y estudiantes de cursos intersemestrales disminuyendo su flujo peatonal en más del 50% (Benito & Ruíz, 2018). Por otro lado, también se puede observar que la demanda energética de la universidad va de forma ascendente, sobre todo entre los años 2015 y 2016 donde aumento considerablemente por la construcción del Bloque B, y el año 2018 y 2019 por la apertura de dos nuevas facultades.

En cuanto a los costos de energía, estos se calculan en relación a su consumo energético en KW/h y a la tarifa mensual (COP KW/h) la cual varía mes a mes, habiendo generado los siguientes pagos por concepto de energía eléctrica entre 2014 y 2019 a la Universidad Santo Tomas Villavicencio, Campus Aguas Claras (Figura 17):

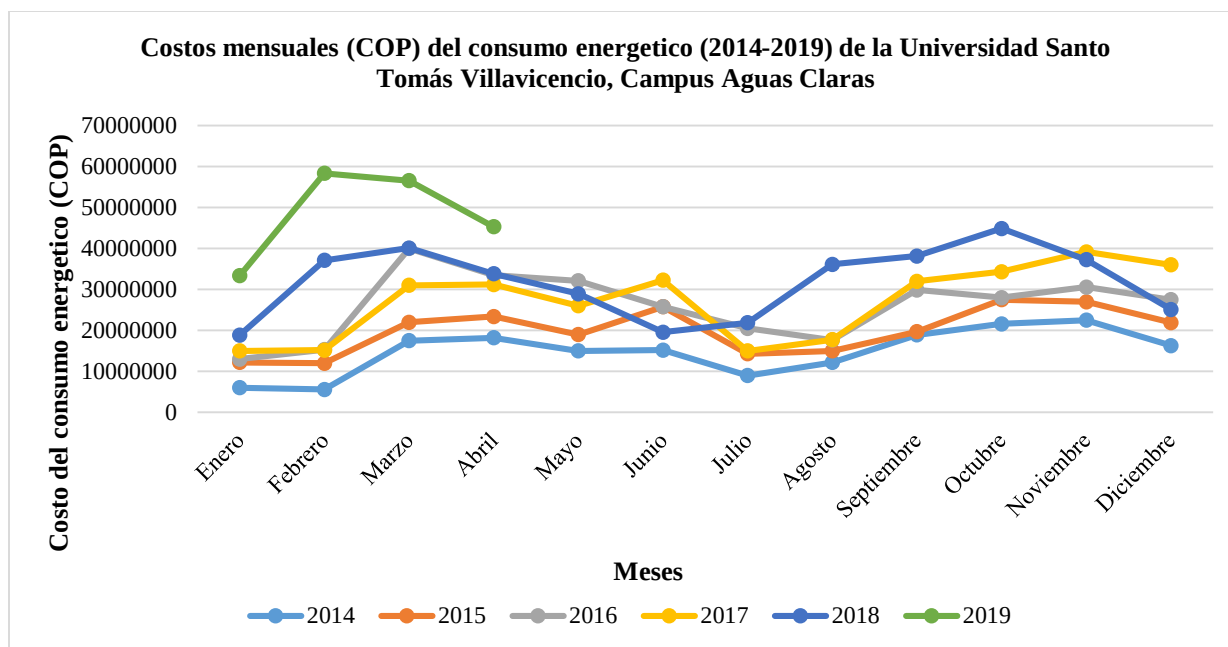


Figura 17. Costos mensuales pagados por consumo energético (2014-2019), por la Universidad Santo Tomas Villavicencio, Campus Aguas Claras. Por Arévalo & Lamprea, 2019

Como se pudo observar, los costos generados tienen una correlación con el consumo energético ya que, a mayor consumo, mayor pago de energía, es por eso por lo que los meses de enero, diciembre, junio y julio presentan un pago menor en comparación a los otros meses. En cuanto al año 2019, se puede evidenciar como este costo ha aumentado drásticamente, debido al considerable aumento de las tarifas aplicadas por EMSA para estos primeros meses del año a la universidad, pues antes del 2019 las tarifas variaban entre un rango de 234 a 339 COP KW/h y en lo corrido del presente año varían entre 360 y 400 COP KW/h.

Por último, ya que se necesita conocer la demanda energética para el presente año y años futuros, para así saber el ahorro energético y monetario generado por la implementación de baldosas piezoeléctricas en dos puntos potenciales a partir del flujo peatonal, se realizó una proyección de 5 años (2019, 2020, 2021, 2022, 2023) basados en la tendencia de crecimiento según el histórico de consumo energético anual de la universidad en estos 5 años (Figura 18)

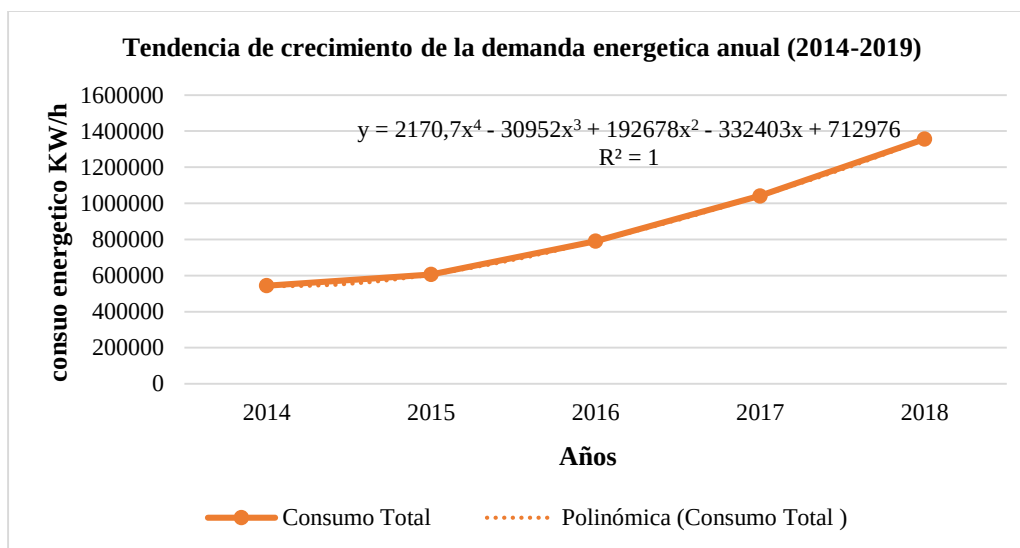


Figura 18. Línea de tendencia del crecimiento de la demanda energética anual de la Universidad Santo Tomás, Campus Aguas Claras. Por Arévalo & Lamprea, 2019.

Para el caso de los datos del histórico de consumo energético anual de la Universidad en estos 5 años, se determinó que la línea de tendencia más confiable para estos datos según el coeficiente de determinación (R^2), es una línea de tendencia polinómica, ya que esta se ajusta perfectamente para los casos en donde la gráfica es una línea curva debido a la variación de los datos en conjuntos de gran tamaño (Microsoft, 2019), arrojando como función de crecimiento la siguiente ecuación:

$$y = 2170,7 x^4 - 30952 x^3 + 192678 x^2 - 332403 x + 712976$$

Aplicando la función de tendencia para la proyección de la demanda energética para los próximos 5 años, se obtienen los siguientes resultados (Tabla 9):

Tabla 10. Proyección del consumo energético (2019-2023) para la Universidad Santo Tomás, Campus Aguas Claras.

Años	Consumo energético KW/h
2019	1780150,8
2020	2410441,8
2021	3392014,8
2022	4920007,8
2023	7239186

Nota: Se aplicó la fórmula arrojada por la línea de tendencia para la estimación del consumo energético en los años posteriores. Por Arévalo & Lamprea, 2019.

10.3.2.2 Generación de energía del sistema de baldosas piezoeléctricas

Con el fin de determinar la eficiencia máxima que puede aportar el sistema, sin desaprovechar ningún espacio del punto potencial, se buscó toda el área potencial alrededor de cada punto escogido para la toma de datos.

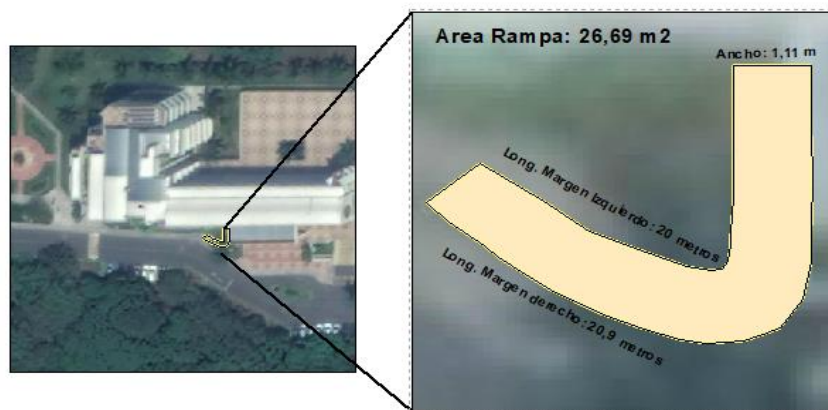


Figura 19. Ubicación del primer punto potencia (Rampa). Por Arévalo & Lamprea, 2019.

En el caso del primer punto potencial (Figura 19), se tomó toda la rampa que conecta con el lobby, para el análisis de energía; esta cuenta con un total de 26, 69 m².

Tabla 11. Energía generada por el 1er punto potencial.

Área de la baldosa (m ²)	Área de la rampa (m ²)
0,1681	26,69
Unidades de baldosas para un m ²	Unidades de baldosas para toda la rampa
6	160,14
Producción de energía por baldosa/pisada (W)	Producción de energía por m ² (W)
0,0072	0,0432
Producción potencial de energía en toda la rampa (W) (una persona pisando todas las baldosas)	
1,153008	

Nota: La producción de la energía se especifica por metro cuadrado, teniendo en cuenta que esta energía está ligada a una sola pisada. Arévalo; Lamprea, 2019

Para determinar la cantidad de baldosas que se utilizarían en este espacio, se determinó inicialmente la cantidad de unidades que se necesitarían para 1 m², para ello, se tomó el área de la baldosa y se multiplicó por un número entero que de resultado nos arroje un valor cercano a 1 m², siendo este la cantidad de unidades a utilizar, para ello, la mejor opción fue el 6, con un total de 1,0086 m² (Tabla 10).

Conociendo el valor que genera por pisada cada baldosa, se obtuvo la cantidad de energía que genera por 1 m^2 , y por ende se conoció la que generara potencialmente toda la rampa, que es de 1,1530 Vatios, en el ejercicio teórico de que el peatón presionara todas las baldosas.

El paso promedio de una persona es de 71,6 cm (Gonzales De la rubia, 2013), y la rampa cuenta con una longitud promedio de 20,45 metros, por lo tanto, una persona promedio, utiliza aproximadamente 28 pisadas para recorrer la totalidad de la rampa.

Con lo anterior, si se relaciona, el número de pisadas con la producción de energía de la baldosa por paso se muestra que una persona, en este punto potencial, en el ejercicio teórico de que pisara una baldosa por paso generaría 0,20 W de energía al cruzar completamente la rampa. Como se mencionó anteriormente, los datos después de las 4 semanas de aforo tienden a generar un patrón y ser constantes, por ende, para hallar la producción energética semestral (tomando únicamente los meses de estudio), se multiplico por el número de meses que se estudiaría normalmente (3, debido a que en uno de los meses se realizaron los aforos). Respecto a lo anterior, como se muestra en la tabla 11, la energía generada por el sistema de baldosas en la rampa es de 69,02784 kW.

Tabla 12. Valor de la energía mensual y semestral producida por la baldosa.

Pasos Promedio por persona en la rampa	Energía Por paso (W)	Número de personas al mes
28	0,0072	85600
Energía Generada por mes (kW)		Energía Generada por semestre (kW)
17,25696		69,02784

Nota: El valor producido por semestre, se multiplico por 4; debido a que como se mencionó anteriormente, por la generalización, los datos después de 4 semanas se tornan con un patrón. Por Arévalo & Lamprea, 2019.

Por otro lado, el segundo punto potencial, que es la portería peatonal de la universidad, posee 5 torniquetes para poder ingresar o salir; estos cuentan con un ancho de 60 cm y una longitud de 1 metro (Figura 20).



Figura 20. Entrada peatonal a la universidad (2 punto potencial). Por Arévalo & Lamprea, 2019.

Al igual que se hizo con el punto potencial anterior, se determinó la máxima eficiencia que puede generar este, aprovechando el mayor espacio posible, que sea factible para el posicionamiento de las baldosas. Teniendo en cuenta lo anterior, cada torniquete, podrá albergar 4 baldosas, distribuidas como se muestra en la Figura 21.



Figura 21. Ubicación de las baldosas en el segundo punto potencial. Por Arévalo & Lamprea, 2019.

Las 2 primeras baldosas, se posicionarán, justo antes de pasar por las barreras de metal; estas se accionarán mientras se coloca el carné en el lector biométrico, o simplemente, si viene del lado contrario, para salir del torniquete. El interior del torniquete, cuenta con el espacio suficiente para situar las otras 2 baldosas; estas serán pisadas mientras pasan entre las barreras, cabe resaltar, que este último, garantiza que se accionen las dos placas, debido a que los pasos que se pueden dar son cortos mientras lo transitan.

Tabla 13. Energía generada por el segundo punto potencial (torniquetes).

Pisadas de cada carril durante las 4 semanas de muestreo				
Carril 1	Carril 2	Carril 3	Carril 4	Carril 5
17620	18275	21580	18558	13892
Energía generada por las 4 baldosas en cada carril, durante las 4 semanas (kW)				
0,126864	0,1315824	0,155376	0,13362	0,1000248
Energía total generada en el punto potencial durante las 4 semanas (kW)				
0,6474672				
Energía total generada en el punto potencial en los 4 carriles durante el semestre (kW)				
2,496564				

Nota: al igual que el punto potencial anterior, el valor mensual (cuatro semanas) se multiplica por 4 debido a los procesos de generalización. Por Arévalo & Lamprea, 2019.

Ahora bien, teniendo en cuenta los datos de la Tabla 12, el carril o torniquete con más flujo fue el número 3, generando 0,15 kW de energía, además, al igual que el punto anterior, el valor energético producido, se multiplica por el tiempo de estudio, resultándonos así, un total por semestre de 2,496564 kW; más bajo que el punto potencial anterior, esto se debe a la cantidad de baldosas posicionadas en cada punto. Teniendo en cuenta los dos puntos potenciales, se establece un total de 180 baldosas para el sistema a implementar; para esto, se tiene en cuenta que el valor unitario de la baldosa es de \$1.000.000 de pesos, y al producirse al por mayor se hace una reducción de precio en los materiales obteniendo como valor final unitario \$640.000

Por último, conociendo la energía generada en el sistema de baldosas en cada punto potencial, se hizo una proyección de tendencia, allí se muestra el consumo energético del campus a 2023, la producción de energía del sistema total de baldosas al mismo año, relacionado con el crecimiento estudiantil y el ahorro energético que se produciría a la universidad (Tabla 13).

Tabla 14. Proyección de consumo y ahorro energético de la universidad al año 2023.

Año	Semestre	N° de estudiantes	Energía rampa (kW)	Energía torniquetes (kW)	Consumo kW universidad	kW del sistema total	% reducción
2019	20191	3444	69,02784	2,496564	1780150,8	143,6214067	0,000081
	20192	3472	69,58045213	2,516550596			
2020	20201	3499	70,1273377	2,536330077	2410441,8	145,8940006	0,000061
	20202	3526	70,67422328	2,556109557			
2021	20211	3553	71,22110885	2,575889038	3392014,8	148,1606608	0,000044
	20212	3581	71,76799443	2,595668519			
2022	20221	3608	72,31488	2,615448	4920007,8	150,4273211	0,000031
	20222	3635	72,86176557	2,635227481			
2023	20231	3663	73,40865115	2,655006962	7239186	152,6939813	0,000021
	20232	3690	73,95553672	2,674786443			

Nota: La proyección del número de estudiantes, se realizó con los registros semestrales anteriores, aplicando la fórmula de tendencia, para así conocer la producción de energía por parte del sistema en los años posteriores al presente. Por Arévalo & Lamprea, 2019.

Como se observa en la Tabla 13. el porcentaje de ahorro anualmente es menos del 1% en todos los años proyectados. Por consiguiente, en la Tabla 14, tomando como referencia los datos anteriores, se halló el valor monetario que estaría ahorrando anualmente el sistema a la universidad con respecto al gasto que esta conlleva. El gasto más económico por parte de la universidad es el del año 2019, con \$676.457.304; ahora bien, el sistema de baldosas, en todos los años proyectados, genera en ahorro menos de 60.000 pesos; teniendo una reducción económica mínima en comparación a los gastos anuales.

Tabla 15. Proyección económica del sistema.

Año	Consumo kW universidad	kW del sistema total	Gasto monetario por la universidad	Dinero ahorrado por el sistema
2019	1780150,8	143,6214067	\$676.457.304	\$54.576
2020	2410441,8	145,8940006	\$915.967.884	\$55.440
2021	3392000,8	148,1606608	\$1.288.960.304	\$56.301
2022	4920000,8	150,4273211	\$1.869.600.304	\$57.162
2023	7239186	152,6939813	\$2.750.890.680	\$58.024

Nota: el valor utilizado para halla los costos, fue de 380 pesos por kW/hora, siendo este el valor promedio del rango de lo que se lleva hasta el momento de año, cabe resaltar que es promedio, debido a que este kW/h mensualmente varia. Por Arévalo & Lamprea, 2019.

Cabe recalcar, que la producción de energía baja se debe al sistema interno de baldosas, al ser un prototipo, este está en constante investigación y modificación, al ser una energía poco estudiada, los datos de un modelo de sistema interno son escasos, las empresas tienen gran celo con este tipo de información. Por tal motivo, el sistema de baldosas, en su constante investigación, no solo buscara elevar el nivel de producción de energía por cada punto potencial, sino que, a su vez, buscara elevar aún más, la reducción económica que este conllevaría; además de gestionar más puntos potenciales para elevar la producción energética.

10.3.2.3 Indicadores económicos

Tabla 16. Indicadores económicos del proyecto.

Indicadores Económicos	
RBC	0,0024
VAN	-\$96.876.796,06
TIR	-
PR	-

Nota: indicadores económicos analizados en Excel, para un horizonte temporal del proyecto a 10 años. (Por Arévalo & Lamprea, 2019).

Como se aprecia en la tabla anterior, el indicador de beneficio-costo al ser menor a 1, determina que el proyecto no es viable económicamente, concepto que es reiterado por el valor presente neto en donde usando como referente la tasa ambiental (GAMA) para la evaluación de proyectos ambientales, muestra una gran pérdida económica para los 10 años de vida útil del proyecto; estos resultados se deben a la poca producción de energía generada por el sistema vs la gran demanda energética que requiere el campus.

En cuanto a los indicadores de la tasa interna de retorno y el periodo de retorno, no pudieron ser estimados mediante el software Excel ya que como la pérdida económica es tan grande, no

existe un valor de la tasa interna de retorno, ni un tiempo considerable para la recuperación de la inversión.

10.3.3 Beneficio ambiental

Para determinar los impactos ambientales que genera nuestro proyecto, y poder conocer el beneficio ambiental generado en comparación a la energía convencional, hemos empleado la matriz de impacto ambiental de EPM (Empresas Públicas de Medellín) que fue desarrollada en Colombia en el año 1986 para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras y actividades mediante el desarrollo de tres etapas: la identificación de las fases del proyecto, la identificación de los impactos y finalmente la evaluación de estos mismos (Arboleda, 2008).

Para el caso de la energía convencional de la cual se abastece la ciudad de Villavicencio, esta proviene en su totalidad de hidroeléctricas, por lo tanto para efectos de la comparación y reconocimiento de los beneficios ambientales con nuestro proyecto, se analizó la matriz de impacto ambiental del sector hidroeléctrico elaborado por el Ministerio de Ambiente, Ministerio de Minas y energía, y el SENA en año 1999, en donde se identifican una gran variedad de impactos en su mayoría negativos durante todas sus etapas, como las siguientes:

En cuanto al factor abiótico, sus impactos negativos recaen en las modificaciones en la calidad del agua y sus corrientes, la alteración de las características fisicoquímicas del suelo y de su uso teniendo como consecuencia la aceleración de procesos erosivos, la alteración del microclima dentro del área del proyecto, y la producción de ruido, partículas y gases que afectan a la población y la fauna. En cuanto el factor biótico, se presentan pérdidas en las coberturas vegetales y la flora, debido a la tala o a cambios en las condiciones ambientales que limitan el normal crecimiento de las especies que allí habitan, impactos sobre la fauna ya que por su efecto barrera altera los procesos migratorios, y ya que se generan cambios en el hábitat de estas especies promueve a la desaparición de estas. Finalmente, en el aspecto socioeconómico sus impactos varían entre positivos y negativos, ya que por un lado este tipo de proyectos influye en un aumento

de la población aledaña, activación económica por la generación de empleos y valorización de las propiedades, pero también trae consigo la afectación del paisaje, incremento en los precios de bienes y servicios, incremento de la demanda de servicios públicos, aumento en los desechos, deforestación y erosión del territorio. La mayoría de estos impactos negativos en las fases de construcción y operación de los proyectos hidroeléctricos.

Por el contrario, los impactos ambientales generados por el proyecto de baldosas piezoeléctricas (Tabla 15) indican un mayor beneficio ambiental ya que sus impactos negativos al ambiente son mínimos.

Tabla 17. Matriz de impacto EMP aplicada al proyecto de baldosas piezoeléctricas.

Sistema de baldosas piezoeléctricas												
Stma	Comp	Aspecto ambiental	Impacto	Actividades	Etapas	Clase	P	E	M	D	Ca	IA
Abiótico	Atmosférico	Emisión de gases	Deterioro de la calidad del aire por emisiones de gases por combustión	Transporte de materias primas	Construcción	-	1	1	0,2	0,3	-2,3	Baja
				Transporte de baldosas piezoeléctricas a sus puntos de implementación	Instalación	-	1	1	0,2	0,1	-1,7	Muy baja
		Ruido	Generación de ruido	Instalación de las baldosas piezoeléctricas	Instalación	-	1	1	0,2	0,1	-1,7	Muy baja
	Suelo	Alteración de propiedades fisicoquímicas	Infiltración de lixiviados al suelo proveniente del sistema eléctrico y baterías	Disposición final del sistema eléctrico	Disposición final	-	0,1	0,6	0,8	1	-0,63	Muy baja

Tabla 18. Continuación.

Sistema de baldosas piezoeléctricas												
Stma	Comp	Aspecto ambiental	Impacto	Actividades	Etapas	Clase	P	E	M	D	Ca	IA
Abiótico	Suelo	Contaminación del suelo	Residuos de Rpet, metal y MDF	Disposición final de los componentes no eléctricos de las baldosas piezoeléctricas	Disposición final	-	0,8	0,2	0,4	1	-2,85	Baja
	Hídrico	Contaminación de acuíferos	Infiltración de lixiviados a acuíferos proveniente del sistema eléctrico y baterías	Disposición final del sistema eléctrico	Disposición final	-	0,1	0,2	1	1	-0,44	Muy baja
		Contaminación de cuerpos hídricos	Residuos del sistema eléctrico y baterías que llegan a cuerpos hídricos	Disposición final de los componentes no eléctricos de las baldosas piezoeléctricas	Disposición final	-	0,8	0,4	0,8	1	-4,19	Media
Socioeconómico y social	Social	Generación de expectativas	Reconocimiento social local	Generación de energía renovable	Operación	+	0,8	0,6	0,2	1	3,07	Baja
		Servicios públicos	Mejora en la prestación de servicios públicos	Generación de energía renovable, independiente del sistema interconectado nacional	Operación	+	1	0,2	0,2	1	3,28	Baja

Tabla 19. Continuación.

Sistema de baldosas piezoeléctricas												
Stma	Comp	Aspecto ambiental	Impacto	Actividades	Etapas	Clase	P	E	M	D	Ca	IA
Socioeconómico y social	Económico	Empleos	Generación de empleo	Mano de obra calificada para el ensamblaje, instalación y mantenimiento de las baldosas piezoeléctricas	Construcción, instalación y operación	+	1	0,2	0,2	1	3,28	Baja
		Niveles de ingresos	Mejora en los niveles de ingreso	Generación de energía renovable a partir del aprovechamiento peatonal	Operación	+	1	0,2	0,2	1	3,28	Baja

Nota: Se empleó la matriz de impacto EMP para la evaluación de los impactos generados en la implementación de un sistema de baldosas piezoeléctricas. Por Arévalo & Lamprea.

Para el proyecto de baldosas piezoeléctricas según la matriz anterior se percibe los siguientes impactos ambientales:

-Impacto atmosférico:

La calidad del aire varía de acuerdo a la cantidad de gases que se emiten a la atmósfera, estas alteraciones para este caso provienen de las fases de construcción e instalación, debido al transporte tanto de materias primas como del producto final para su instalación, ya que estos vehículos de transporte producen emisiones de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y

partículas como resultado de la quema del combustible (Riveros, Cabrera, & Martínez, 2017); además de la generación de ruido. Pero a pesar de que según la calificación ambiental este es un impacto negativo, estos resultan ser irrelevantes debido a que estos ocurren solo en un pequeño periodo de tiempo no superior a dos días, y que no tienen que ver con el funcionamiento propio de esta energía renovable sino solo para su fabricación e instalación. En cuanto al funcionamiento de esta alternativa, se puede verificar que es totalmente silenciosa y sin emisión de ningún tipo de gases.

-Impacto del suelo:

Este impacto es generado principalmente en un escenario en el cual se haga una deficiente disposición final de las baldosas cuando estas terminen su vida útil, pues en el caso de que esto sucediera todas las partes de la baldosa se dispondrían como desechos ordinarios y no serían usados en procesos secundarios o en el caso del rPET procesos terciarios, contribuyendo así a la crisis de los rellenos sanitarios y a la contaminación del suelo. Otro de los impactos que se podrían generar es el de la infiltración de contenido toxico compuesto principalmente por metales pesados como mercurio, cinc y cadmio al suelo (Beltrán, sf) proveniente de la parte eléctrica del sistema de baldosas que, aunque podría generar un impacto negativo importante es improbable que suceda.

Cabe aclarar que en cuanto a la instalación de este sistema no se hace directamente sobre el suelo, sino que se posicionan sobre suelos o pisos ya construidos, por lo cual no genera remoción de capas vegetales, dispersión de partículas o erosión del suelo.

-Impacto al recurso hídrico

En cuanto al recurso hídrico, considerando una mala disposición final de la parte eléctrica del sistema, y considerando una posible infiltración de contenido tóxico de las baterías, cables y circuitos, se puede presentar la posibilidad de la presencia de un acuífero, pero este suceso tendría mucho tiempo para que suceda y además es muy improbable que pase, por eso sigue siendo de una importancia ambiental baja.

Por otro lado esta mala disposición de estos residuos peligrosos en las calles o rellenos sanitarios, y debido a escorrentías por precipitaciones o por presencia de vertederos, estos elementos pueden terminar en cuerpos hídricos aledaños, y en cuanto se degrade la carcasa que las recubre, expulsaran metales pesados y altamente tóxicos capaces de contaminar hasta 5000 litros de agua (Beltrán, sf) por lo tanto es el impacto con mayor importancia ambiental de nuestro sistema con una calificación media.

-Impacto socioeconómico

Este tipo de proyectos además de sus consideraciones ambientales también poseen un gran impacto social y económico a la población, ya que no solo genera ahorros económicos por pagos en el servicio de electricidad, sino que también genera nuevos empleos, aunque tal vez no en gran cantidad. En cuanto a lo social crea conciencia y expectativas del uso de este tipo de energías renovables que no solo da beneficios a su medio ambiente, sino que también aporta a un mejor servicio eléctrico sin interrupciones por fenómenos climáticos o fauna silvestre.

Con base en el análisis de impacto de los dos proyectos, se puede observar cómo disminuyen sustancialmente los impactos negativos con la implementación de un sistema de baldosas piezoeléctricas, pues no se altera de manera drástica la dinámica en los ecosistemas acuáticos y terrestres, la reproducción y subsistencia de especies, ni aumenta la deforestación de los bosques desestabilizando el suelo y afectando seriamente el factor biótico y abiótico a gran escala.

En cuanto a los aspectos sociales y económicos, a pesar de que los proyectos hidroeléctricos generan empleos de forma masiva en comparación con nuestro proyecto, esto no compensa las grandes afectaciones negativas ya que según un estudio de la Universidad Nacional de Colombia, estos empleos van dirigidos en mayor medida a población externa causando una inmigración de población foránea al área de influencia y comprometiendo así los patrones culturales de estas, además de que genera desplazamiento de campesinos y mineros en busca de nuevas oportunidades de empleo o nuevas zonas en donde puedan retomar sus actividades, todo esto debido a que pierden sus predios por la construcción de los embalses (Torres, Caballero, & Awad, 2014). Por otro lado este tipo de energía generada por las hidroeléctricas solo llega a las poblaciones que hacen parte

del sistema interconectado nacional dejando por fuera las comunidades más vulnerables, alejadas y olvidadas del país pues se considera aún muy costoso llevar la energía a estas zonas (Zapata, 2017), cosa que no ocurre con un sistema autónomo como el de las baldosas piezoeléctricas u otros sistemas de energía renovable.

10.3.3.1 Reducción de emisiones de dióxido de carbono

Uno de los beneficios más importantes generado por el proyecto de baldosas piezoeléctricas, es la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, considerando que según el Panel gubernamental para el cambio climático (IPCC) las concentraciones de CO₂ cada año son alarmantes, lo que lleva a la necesidad de emplear proyectos y tecnologías como mecanismos de desarrollo limpio para la reducción o captura de estas emisiones, tales como las energías renovables (Sandra Milena & Ernesto, 2008).

Para el cálculo de la reducción de CO₂ al medio ambiente con la implementación de nuestro sistema de energía limpia, se consideró la metodología implementada por la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) en donde se estiman los factores de emisión (FE) del sistema interconectado nacional para aplicarlos a mecanismos de desarrollo limpio (MDL), cálculo de la huella de carbono e inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero (Benito & Ruíz, 2018).

Para los proyectos MDL, el cálculo del factor de emisión de CO₂ a emplear en proyectos renovables que suministran energía a una red y que generan ahorros de electricidad tal como el proyecto de baldosas piezoeléctricas, se hace con base en el “tool to calculate the emission factor for an electricity system” establecido por la convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. Según lo anterior, el UPME en el año 2016, utilizando el método simple ajustado, estima que el FE del sistema interconectado nacional para proyectos MDL es de 0,367 tCO₂ /MWh (Bonilla, Herrera, & Puertas, 2017), que aplicado al consumo anual proyectado en 5 años supone las siguientes reducciones de CO₂ (Tabla 16)

Tabla 20. Reducción de emisiones de CO₂

Años	Energía del sistema Anual (MW/h)	FE (t CO ₂ /MWh)	Reducción anual tCO ₂ /MWh
2019	0,14362141	0,367	0,05270906
2020	0,145894	0,367	0,0535431
2021	0,14816066	0,367	0,05437496
2022	0,15042732	0,367	0,05520683
2023	0,15269398	0,367	0,05603869

Nota: Se multiplico el factor de emisión dado por el UPME, con la energía eléctrica suministrada por nuestro sistema a la universidad para los años proyectados (2019-2023), y así conocer la reducción de emisiones de CO₂. Por Arévalo & Lamprea, 2019.

Con lo anterior se demuestra la reducción de gases de efecto invernadero con la implementación de nuestro sistema propuesto, que tan solo para el 2019 sería de 0,052 tCO₂/MWh.

11 Conclusiones

- El aporte energético porcentual a la demanda eléctrica anual de la Universidad Santo Tomás Villavicencio, generado por el sistema de baldosas piezoeléctricas propuesto es de menos del 1% como se observa en la tabla 13; para esto, se proyectaron un total de 180 baldosas, sumando los dos puntos potenciales, generando así un total de 143,62 kW para el año 2019, siendo esta útil, al aportar al sistema lumínico ubicado en la entrada vehicular.
- Se obtuvo un prototipo de baldosa piezoeléctrica de 41 x 41 cm, que cuenta con una placa superficial fabricada a partir de plásticos reciclados (30% polipropileno, 30% Polietileno de alta densidad y 40% Polietileno de baja densidad), piezoeléctricos cerámicos convencionales, placas de MDF y un marco de acero que la contiene, con una vida útil aproximada de 10 años.
- Mediante la prueba piloto realizada en el salón 103^a de la Universidad Santo Tomás Villavicencio, se determinó que la energía promedio generada por pisada en el prototipo es de 0,0072 W, pues la generación de la energía varía de acuerdo con el peso corporal de los peatones como se observa en la tabla 6. Además, la baldosa mostró suficiente resistencia para altos y constantes flujos peatonales, ya que no se presentaron averías o fracturas en su estructura durante la prueba.
- Se estableció de acuerdo con los indicadores económicos, que el sistema de baldosas piezoeléctricas propuesto es inviable económicamente, esto debido a la poca generación de energía que genera cada baldosa con relación a su costo de producción. Cabe resaltar que, a pesar de no ofrecer un gran beneficio económico, esta reduce drásticamente las externalidades causadas por la energía eléctrica convencional, ya que los impactos negativos generados por el proyecto tienen una importancia poco significativa (baja y muy baja), además de una reducción de emisiones 0,052 tCO₂/MWh a la atmosfera en el año 2019 gracias a su funcionamiento e implementación en la universidad.

12 Recomendaciones.

- Optimizar el sistema interno de la baldosa para la maximización energética y reducción del costo de producción por unidad, mejorando así la rentabilidad del proyecto.
- Estimar el aporte energético de otros puntos potenciales como lo son las cafeterías y las escaleras de los dos bloques, ya que estos cuentan con un aporte de flujo elevado, complementando energéticamente en gran medida el sistema propuesto para los dos puntos potenciales.
- Adecuar el sistema de baldosas para escenarios de flujo pesado, como lo son los vehiculares, criaderos ganaderos, entre otros, pues a mayor presión ejercida sobre las baldosas, mayor es la energía generada.

12. Bibliografía

- Acciona. (2018). *Acerca de nosotros: Acciona*. Obtenido de Sitio web de Acciona: <https://www.sostenibilidad.com/vida-sostenible/que-es-la-piezolectricidad/>
- Aguirre, F. J. (2014). *Análisis de la factibilidad económica y ambiental de utilizar baldosas piezoeléctricas en el campus de la Universidad Nueva Granada*.
- Arboleda, J. (2008). *Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades*.
- Arboleda, G., J. (2005). *Curso de evaluacion de impacto ambiental (EIA)*. Medellin: EPM.
- Ávila, R., Prado, L., & González, E. (2007). *Dimensiones Antropométricas de la Población Latinoamericana*. Jalisco: Universidad de Guadalajara.
- Bañuls, P. (2017). *Desarrollo de materiales piezoeléctricos mediante la aplicación de polímeros espumados*. Universidad Politecnica de Valencia - Tesis de grado. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/87858/35596767N_TFG_14993602592226783101036341256939.pdf?sequence=2
- Beltrán Gómez, L. V. (2016). *Análisis de los diferentes tipos de energías alternativas y su implementación en Colombia*. Bogota: Universidad Militar Nueva Granada- Tesis de grado.
- Beltrán, A. (sf). Las pilas y su efecto en el ambiente. Recuperado el 11 de Mayo de 2019, de <https://www.monografias.com/trabajos94/pilas-y-su-efecto-medio-ambiente/pilas-y-su-efecto-medio-ambiente.shtml>
- Benito, G., & Ruíz, K. (2018). *Análisis beneficio-costos de la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en el campus aguas claras de la universidad santo tomás sede villavicencio, meta*. Villavicencio: Universidad Santo Tomás Villavicencio.
- Bonilla, M., Herrera, H., & Puertas, Y. (2017). *Factores de emisión del sistema interconectado nacional colombia-SIN*. UPME.
- Borja, L. (28 de Diciembre de 2008). En el metro de tokyo los viajeros generan electricidad con sus pisadas. Recuperado el abril de 2019, de <https://www.tuexperto.com/2008/12/28/en-el-metro-de-tokyo-los-viajeros-generan-electricidad-con-sus-pisadas/>

- Burgos Navarrete, F. J., & Escalona, E. (2017). Prueba piloto: validación de instrumentos y procedimientos para recopilar data antropométrica con fines ergonómicos. *Ingeniería y sociedad UC*, 31-47.
- Carbo Giro, C., & Roca Baringo, M. (2014). *Evaluación de la dependencia de combustibles fósiles en la construcción de viviendas en Chile determinando una alternativa en materiales y sistemas constructivos en un mundo post petróleo*. Curicó: Universidad Talca -Chile- Tesis de grado.
- Carrillo, S., & Velandia, R. (2016). *Propuesta para la implementación de una alternativa que permita mejorar la eficiencia energética en el edificio Rafael Arboleda de la Pontificia Universidad Javeriana*. Bogotá: Univesidad Javeriana- Trabajo de grado.
- Castellanos, N. (2013). Evaluación preliminar del uso del efecto piezoeléctrico para la generación de energía. *Inventum*, 35-40.
- Ceramtec. (S.f.). Principios de funcionamiento piezoeléctrico, perovskita y polarización. Recuperado el Mayo de 2019, de <https://www.ceramtec.es/materiales-ceramicos/piezoceramica/basicos/>
- Cifuentes, J. (2013). *Baldosa pezoeléctrica para alimentar sistemas de iluminación de bajo consumo energético*. Envigado.
- Consejo nacional de política económica y social. (2018). *Documento CONPES 3934, política de crecimiento verde*. Bogotá.
- CREG. (2018). *Acerca de nosotros: Comision de Regulacion de Energia y Gas*. Obtenido de Sitio web de CREG: <http://www.creg.gov.co/creg/quienes-somos/mision-y-vision>
- Cúpich, M., & Elizondo, F. (2000). Actuadores Piezoeléctricos. *eprints*, 22-28.
- Departamento Nacional de Planeacion. (2011). *Documento CONPES 3700*. Bogotá: Republica de Colombia.
- Electricasas. (2015). Diferencias entre la corriente continua (DC) y la corriente alterna (AC). Recuperado el Abril de 2019, de <https://www.electricasas.com/diferencias-entre-corriente-continua-y-corriente-alterna/>
- EMSA. (2017). *Informe de gestión 2017*.
- Fernandez Garza, A., & Hernandez Vega, H. (2018). Estudio de la movilidad peatonal en un centro urbano: un caso en Costa Rica. *Revista Geografica*, 267-300.

- Financiera de Desarrollo Nacional (FDN). (2017). *Estructuración técnica del tramo 1 de la primera línea del metro de Bogotá (PLMB)*. Bogotá.
- Fresneda, C. (5 de Mayo de 2013). Las baldosas inteligentes que generan electricidad. Londres. Recuperado el Marzo de 2019, de <https://www.elmundo.es/elmundo/2013/05/23/natura/1369334180.html>
- Garcia Perdomo, C. A. (2015). *Valoracion de la electrificadora del meta S.A. ESP - EMSA ESP*. Villavicencio.
- Garrigós, J. (2011). *Introducción a la electricidad*. Albacete, España: I.E.S. Andres de vandelvira.
- Giraldo Ocampo, D. F. (2017). *El marco normativo de las energías alternativas en Colombia no garantiza su pleno desarrollo*. Bogotá: Universidad Militar Nueva granada- Trabajo de grado.
- Gonzales De la rubia, A. (2013). La zancada paso a paso. *Pedalogia Deportiva*, 44-47.
- Gonzáles, A. (2014). *La energia*. I.E.S Villalva Hervás.
- Gudynas, E. (31 de Enero de 2018). Los nudos del petroleo en Colombia: ambiente y ciencia, política y democracia. Palabras al margen. Recuperado el Abril de 2019, de Sitio web de Palabras al margen: <http://palabrasalmargen.com/edicion-122/los-nudos-del-petroleo-en-colombia-ambiente-y-ciencia-politica-y-democracia/>
- Guío, F. (2009). *Flujos peatonales en infraestructuras continuas: marco conceptual y modelos representativos*. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Hernandez Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- International Renewable Energy Agency. (2018). *Investigación y análisis de los beneficios de las energías renovables*.
- Kour, R., & Charif, A. (2016). *Piezoelectric Roads: Energy Harvesting Method Using Piezoelectric Technology*. Coventry.
- Kumar, P. (2013). Piezo-Smart roads. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering*, 65-70.
- Ley 1715. (2014). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Diario Oficial No. 49. 084. Obtenido de: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1712_2014.html

- Ley 629. (2000). Por medio de la cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997. Diario Oficial No. 44.272. obtenido de: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0629_2000.html
- Manrique Abril, F., Martinez Martin, A., & Ospina, J. M. (2007). Crecimiento poblacional y políticas públicas. *Redalyc*.
- Microsoft. (2019). Elegir la mejor línea de tendencia para los datos. Recuperado el 29 de Mayo de 2019, de <https://support.office.com/es-es/article/elegir-la-mejor-l%C3%ADnea-de-tendencia-para-los-datos-1bb3c9e7-0280-45b5-9ab0-d0c93161daa8>
- Ministerio de Minas y Energía. (4 de Julio de 2007). Acerca de nosotros: CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas). Bogotá. Recuperado el Mayo de 2019, de Sitio web de CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas): <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/f7599f8065183c5c05256eee006fd3a0/7a5a28b7f408daa90525785a007a6f2a?OpenDocument>
- Ministerio de minas y energía. (2016). *Plan de acción indicativo de eficiencia energética 2016-2021*. Bogotá.
- Montoya, Y., Toledo, L., & Angulo, G. (2010). *Generación de energía eléctrica mediante el uso de material piezoeléctrico*.
- Morales, A., & Contreras, J. (2016). *Análisis de conveniencia de la implementación de la energía piezoeléctrica en las salas de cine colombiana en la ciudad de Bogotá D.C.*
- Naciones Unidas. (1997). *Protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. Kyoto - Japon: FCCC/INFORMAL/83.
- Olivera Villarroel, Z. M. (2011). *Explotación de recursos no - renovables en áreas protegidas : valoración de las áreas protegidas en Bolivia*. Cochabamba: IESE-UMSS.
- ONU. (2018). *Programa medioambiental :Informe anual 2018*.
- Paul, D., & Roy, A. (sf). *Piezoelectric effect: Smart roads in green energy harvesting*. Kolkata.
- PNUD. (s.f.). *Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante*. Obtenido de: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>

- Quintero, F., & Fernández, P. (2017). *Factibilidad técnica y económica de implementar un sistema energy harvesting con generadores piezoeléctricos en una zona de alto tráfico vehicular en la ciudad de Cali*. Cali: Pontificia Universidad Javeriana.
- Renovables Verdes. (2011). Energía piezoeléctrica convierte el movimiento humano en electricidad. Obtenido de <https://www.renovablesverdes.com/energia-piezoelctrica-convierte-movimiento-humano-en-electricidad/>
- Restrepo, Ó. (2011). *Baldosas cerámicas y grés porcelánico: Un mundo en permanente evolución*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Revista Dinero. (2018). Colombia da sus primeros pasos para implementar energías renovables. *Revista Dinero*, 1-1.
- Rico, G. (2018). Hidroeléctricas en Colombia: entre el impacto ambiental y el desarrollo. *Mongabay*.
- Riveros, H., Cabrera, E., & Martínez, J. (2017). *Emisiones vehiculares*.
- Röben, E. (2003). *El reciclaje: Oportunidades para reducir la generación de los desechos sólidos y reintegrar materiales recuperables en el círculo económico*. Loja.
- Rodríguez, N., & Zambrano, D. (2010). Los subproductos del café: fuente de energía renovable. *Cenicafé*.
- Rojas Garzon, P. J., & Vergel Causado, R. (2013). Procesos de Generalización y Pensamiento Algebraico. *Educación científica y tecnológica*, 760-766.
- Rojas, G. (2007). *Ventajas y desventajas del uso de acero en la construcción*.
- Sandra Milena, M. S., & Ernesto, T. Q. (2008). *Proyecto de reduccion de emisiones por generación de energía renovable con el uso de MDL, caso "pequeña central hidroeléctrica Santa Ana, EAAB-ESP*.
- Sculpteo. (2009). MDF para corte y grabado con láser. Recuperado el Mayo de 2019, de <https://www.sculpteo.com/es/corte-por-laser/materiales-corte-por-laser/>
- Sepúlveda, E. (2014). *Diseño de un colector de energía piezolétrico (energy harvesting) mediante la optimización topológica que maximice la transformción de energía mecánica en energía eléctrica generada por un ser humano al caminar*. Medellín.
- Sharapov, V. (2011). *Piezoceramic sensors*. Springer.
- Shenck, N., & Paradiso, J. (2001). *Energy Scavenging with shoe-mounted piezoelectrics*.

- Solidworks corporation. (2019). *Solidworks 2019: Solución del diseño a la fabricación de eficacia aprobada*.
- Suárez, D. (9 de Marzo de 2019). Solo el 26% de las botellas plasticas se recicla. *La república*.
- Suaréz, R. (24 de Octubre de 2016). El reciclaje de llantas, un mercdó que todavia falta por explorar. *El tiempo*.
- Tamayo Zapata, D. A., & Cardozo Gutierrez, N. K. (2017). *el uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de bogotá*. Bogota: Universidad Catolica de Colombia.
- Tamayo, A., & Cardozo, N. (2017). *El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá*. Bogotá: Universidad Católica de Colobia - Tesis de grado. Obtenido de Universidad Catolica: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14488/1/Proyecto%20de%20grado%20piezoelctricos%20en%20perfil%20vial%20piloto%20en%20Bogot%C3%A1.pdf>
- Tamayo, D., & Cardozo, N. (2017). *El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto de un perfil vial de Bogotá*.
- Theremino. (sf). Sensores piezoeléctricos. Recuperado el 12 de Abril de 2019, de <https://www.theremino.com/es/hardware/inputs/piezolectric-sensors>
- Torres, M. A., Caballero, H., & Awad, G. (2014). *Hidroeléctricas y desarrollo local ¿mito o realidad? caso de estudio: Hidroituango*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Tristán, R. (2016). La piezoelectricidad, pasos de luz. *Dialnet*, 60-65.
- Trotec laser GmbH. (2019). Grabado y corte con láser. Recuperado el 1 de abril de 2019, de <https://www.troteclaser.com/es-co/maquinas-laser/software-laser/>
- Twenergy. (2012). ¿Qué son las energías renovables? Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <https://twenergy.com/energia/energias-renovables/que-son-las-energias-renovables-516/>
- Twenergy. (5 de Diciembre de 2014). Sensores piezoeléctricos. Recuperado el Febrero de 2019, de <https://twenergy.com/energia/energias-renovables/sensores-piezoelctricos-una-nueva-forma-de-energia-renovable-1545/>
- UPME. (2018). *Acerca de nosotros: Unidad Administrativa Especial del orden Nacional: UPME*. Obtenido de Sitio web de UPME: <http://www1.upme.gov.co/Entornoinstitucional/NuestraEntidad/Paginas/Quienes-Somos.aspx>
- Valcarso, A. (2014). *Trabajo y Energia*. Chile: Universidad Católica de Chile .
- Zapata, J. (2017). Hidroeléctricas: ¿energía verde? *Esfera viva*.