

Energía que camina

Andrés Felipe Plazas Herrera

Juan Felipe Martínez Pérez

Edwin Fernando González García

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Proyecto de Grado

Carlos Alberto Corrales Medina

Bogotá D.C.

Mayo 2025

INDICE

Introducción	14
Resumen ejecutivo	16
Identificación del producto, servicio o investigación	17
Objetivos	18
General	18
Específicos	18
Enunciado Holopráxico	18
Mercado y cantidad de clientes potenciales	19
Idea de negocio del proyecto empresarial.....	20
Nombre del proyecto empresarial.....	20
Actividad del proyecto empresarial	20
Sector productivo en que se encuentra la empresa	21
Clientes a quien se dirige el proyecto	21
Subsector productivo del sector de la construcción en que se encuentra el proyecto empresarial.....	22
Objetivos de la empresa	22
Razón social y logo.....	22

Referencia de los emprendedores	23
Localización geográfica o virtual del proyecto.....	23
Estudio de mercado.....	24
Análisis del sector	24
Descripción de la situación actual del sector de la construcción en Colombia.	26
PIB	26
Generación de empleo.....	27
Sector construcción como generador de empleo	28
Análisis de las tendencias de consumo en el mercado de la construcción.....	29
Sostenibilidad en la construcción.....	29
Edificios inteligentes.....	29
Ciudades sostenibles	29
Materiales innovadores	30
Necesidades del sector de la construcción	30
Generación de energía.....	30
Condiciones tecnológicas a nivel nacional e internacional para la producción del bien o servicio.....	31
Desarrollo tecnológico e industrial del sector y mercados objetivos.....	32
Mercados Objetivo.....	33

Estrategia de Penetración de Mercado.....	34
Análisis del mercado.....	34
Estimación de la cantidad de producto o servicio que compran los clientes potenciales.	36
Estimación del precio al que compran el producto o servicio los clientes potenciales	36
Estimación de la frecuencia de la compra del producto o servicio por parte de los clientes potenciales.	38
Análisis de la competencia.....	38
Identificación de los principales competidores.....	39
Análisis de la competencia, fortalezas, debilidades, participación en el mercado.	41
Matriz DOFA.....	41
Fortalezas	41
Amenazas.....	42
Plan de marketing	42
Estrategia de producto o servicio.....	42
Definir empaque y presentación (dimensión, modulación, empaque y embalaje)	44
Empaque Individual por Baldosa.....	45
Definición de la Garantía y servicio de postventa.	46
Termino (Duración)	46

Servicio postventa.....	46
Determinar si el cliente está dispuesto a comprar el producto o servicio.	47
Análisis de estrategias de precio y forma de pago.....	47
Como prefieren pagar los colombianos	49
Promoción Análisis de precios unitarios.....	50
Análisis de estrategias de distribución.....	50
Canal de Distribución	51
selectiva y exclusiva	51
Distribución directa.....	51
Logística.....	51
Experiencia y oportunidad	52
Estrategias de promoción y comunicación.	54
Plataformas clave	54
Estrategias	55
SEM (Publicidad en Buscadores)	56
Relaciones Públicas	59
Publicidad: Logo, identidad cromática y eslogan	61
Presupuesto de Comunicación	62
Presentación	63

Ficha Técnica	63
Área de investigación.....	65
Tema de investigación	65
Título de la investigación.....	65
Línea de investigación	65
Tipo de investigación.....	66
Clase de investigación.....	66
Investigación Cuantitativa	66
Investigación Cualitativa	67
Investigación Experimental	67
Cuadro de variables.....	67
Herramientas de investigación utilizadas.....	68
Revisión Bibliográfica y Documental:.....	69
Software de Simulación y Diseño.....	69
Instrumentos de Medición:	70
Material piezoeléctrico por integrar.....	71
Técnicas e instrumentos.....	72
Ensayos	73
Ensayo de Generación de Energía	73

Ensayo de Durabilidad y Ciclo de Vida.....	75
Ensayo de Resistencia Mecánica de los piezoeléctricos.....	76
Ensayo de Eficiencia Energética con Circuitos	77
Ensayo de Compatibilidad con Materiales de Acabado	78
Evidencia de diligenciamiento del CvLAC	78

Hoja de vida	
Nombre	Andres Felipe Plazas Herrera
Nombre en citasiones	AFPH
Documento identidad	Cédula de ciudadanía 1000049510
Nacionalidad	Colombiana
Fecha y lugar de nacimiento	2002-12-26 00:00:00.0 - Colombia BOGOTÁ, D.C.
Sexo	Masculino
Dirección Profesional	
Institución	
Dirección	
Barrio	
Teléfono	
E-mail institucional	afplazas@unicolmayor.edu.co
Dirección Residencial	
Dirección	calle 62 a sur #19b-70
Barrio	Acacias sur
Municipio	BOGOTÁ, D.C.
Teléfono	3142692131
E-mail personal	plazasandres2002@gmail.com
Formación Académica	
<ul style="list-style-type: none"> Técnico - nivel superior UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA Tecnólogo en administración y ejecución de construcciones Julio de 2019 - Septiembre de 2022 	

.....	79
Descripción del producto o servicio	80
Árbol de los problemas causas y consecuencias.....	80
Causa 1. Metodologías Constructivas Tradicionales.....	80
Causa 2. Desconocimiento del Potencial de las Energías No Convencionales.	81
Causa 3 Altos Costos de Implementación de Energías No Convencionales	81
Árbol de objetivos medios y fines, definición.....	81
Delimitación temática y geográfica	82

Delimitación geográfica:.....	83
Descripción	83
Concepto general del producto o servicio.....	83
Impacto tecnológico, social y ambiental.....	84
Potencial innovador	85
Justificación del problema a investigar.....	87
Justificación Ambiental	87
Justificación Social	89
Justificación económica	92
Justificación Profesional	94
Justificación Tecnológica.....	98
Necesidades que satisface	99
Metodología de la investigación	101
Alcance	101
Cronograma de la investigación.....	102
Antecedentes del problema a investigar	103
Estado del Arte del Problema a investigar	106
Marco Teórico.....	111
Definiciones y conceptos	111

Materiales piezoeléctricos naturales	112
Materiales piezoeléctricos artificiales.....	114
Cerámicas.....	114
Polímeros	116
Monocristales.....	117
Aplicaciones de la piezoelectricidad.....	117
Marco Histórico	119
Marco normativo.....	123
Marco Ambiental	127
Extracción de materiales.....	127
Marco Productivo.....	130
Procesos tecnológicos de producción	130
Procesos de fabricación.....	130
Consumo de energía.....	130
Uso de químicos y residuos peligrosos.....	130
Contaminación y desechos industriales	131
Desempeño Ambiental.....	131
Marco sociocultural	132
Matriz FODA Floor Energy S.A.S	135

Gestión organizacional y administrativa.....	135
Estructura organizacional.....	135
Perfiles de cargo y funciones.....	136
Sistema de contraprestación.....	137
Forma jurídica y régimen tributario.....	138
Registro en la DIAN	139
Régimen Tributario: Ordinario	139
Proceso de formalización y gastos asociados.	139
Plan financiero	141
Plan de inversión en activos fijos y capital de trabajo.....	141
Inversión total para el primer mes	143
Proyección de ingresos y egresos	144
Punto de equilibrio y margen de distribución	145
Punto de Equilibrio	145
Indicadores financieros, VAN, TIR, Tiempo de recuperación de la inversión, nivel de endeudamiento, razón corriente y razón de liquidez.	149
Supuestos financieros para la proyección: Régimen de impuestos, tasa de amortización de los créditos, periodo de gracia, TIO, Tipo de proyección constante o corriente.....	149
Conclusiones	150

Marco terminológico.....	155
Marco terminológico en ingles	163
Referencias.....	170

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Canvas.....	20
Ilustración 2 Logo de Floor Energy S.A.S.....	22
Ilustración 3 UPL de Bogotá D.C.....	23
Ilustración 4 Distribución porcentual, variación absoluta y contribución a la variación de la población ocupada según rama de actividad Total nacional.....	27
Ilustración 5 Variación anual de las relaciones laborales por sector económico.....	28
Ilustración 6 Matriz competencia indirecta.....	39
Ilustración 7 matriz de competencia directa	40
Ilustración 8 Tenencias de medios e instrumentos de pago.....	49
Ilustración 9 Redes sociales	54
Ilustración 10 SoftZone.....	56
Ilustración 11 google ads	57
Ilustración 12 Nondedet.....	58
Ilustración 13 AUC.....	59

Ilustración 14 Logotipo.....	61
Ilustración 15 Ficha técnica	64
Ilustración 16 Ensayo generación de voltaje	74
Ilustración 17 Resistencia mecánica de los piezoeléctricos.....	76
Ilustración 18 CvLAC Edwin González	78
Ilustración 19 CvLAC Andrés Plazas.....	79
Ilustración 20 CvLAC Felipe Martínez	79
Ilustración 21 Árbol de problemas.....	80
Ilustración 22 Árbol de objetivos.....	82
Ilustración 23 proceso de la investigación	102
Ilustración 24 cronograma	103
Ilustración 25 Cuarzos	113
Ilustración 26 PZTS	114
Ilustración 27 Cerámicas.....	115
Ilustración 28 módulos.....	116
Ilustración 29 Polímeros	117
Ilustración 30 Cuarzo.....	128
Ilustración 31 Turmalina.....	128
Ilustración 32	128
Ilustración 33 FODA.....	135
Ilustración 34 Proyección grafica	147

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Segmento del mercado.....	19
Tabla 2 Variaciones anuales del PIB de las edificaciones y la producción	26
Tabla 3 APU	50
Tabla 4 Componentes del presupuesto	62
Tabla 5 Toma de mediciones	75
Tabla 6 Pruebas material elástico	77
Tabla 7 Investigaciones de referencia.....	108
Tabla 8 Investigaciones de referencia.....	109
Tabla 9 Investigaciones de referencia.....	110
Tabla 10 Normatividad	124
Tabla 11 Impacto por sectores productivos	126
Tabla 12 Materiales piezoeléctricos naturales	129
Tabla 13 Activos fijos.....	142
Tabla 14 Costos fijos	142
Tabla 15 Inversion inicial	143
Tabla 16 Proyección de ventas	144
Tabla 17 Estado de resultados proyectado.....	146
Tabla 18 Flujo de caja proyectado	147
Tabla 19 Balance general proyectado.....	148
Tabla 20 Amortización del préstamo bancario	150

Introducción

La creciente demanda energética global plantea desafíos significativos para los sistemas actuales de generación y consumo de electricidad, según la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2021), se proyecta que la demanda de energía eléctrica en Colombia alcanzará los 80.268 GWh-año en 2023 y crecerá a 121.648 GWh-año para 2037, con un aumento promedio anual del 3,1%. Este panorama resalta la necesidad urgente de diversificar las fuentes de energía y de encontrar soluciones sostenibles que reduzcan la dependencia de recursos no renovables.

En este contexto, la energía piezoeléctrica se perfila como una alternativa prometedora al permitir la conversión de la energía mecánica, generada por el movimiento humano o las pisadas, en energía eléctrica, este enfoque tiene el potencial de integrarse en entornos urbanos mediante tecnologías innovadoras, como pisos con propiedades piezoeléctricas, para aprovechar de manera eficiente la energía mecánica generada en espacios de alta circulación.

El presente proyecto propone el diseño y evaluación de un sistema de generación energética para edificaciones nuevas con énfasis en establecimientos comerciales, basado en la integración de pisos con propiedades piezoeléctricas; este sistema busca contribuir a la sostenibilidad energética de los edificios, promoviendo una solución innovadora y renovable que optimice el uso de recursos disponibles.

El objetivo de la investigación es desarrollar un prototipo de baldosa piezoeléctrica, evaluando su rendimiento energético, sostenibilidad y viabilidad económica, para ello, se realizarán pruebas de eficiencia energética y durabilidad, se analizarán materiales piezoeléctricos

como el cuarzo, la turmalina y cerámicas de plomo zirconato titanio, y se explorarán acabados versátiles compatibles con diferentes materiales de construcción.

Además, se efectuará una revisión exhaustiva de la literatura para identificar avances y mejores prácticas en el campo, para determinar la viabilidad de implementar esta tecnología a gran escala.

Se busca construir un prototipo funcional a escala de laboratorio que permita comprender las características de generación energética de las baldosas bajo diferentes frecuencias y condiciones de carga, los resultados de estas pruebas permitirán evaluar el desempeño y las posibles aplicaciones de esta tecnología en edificaciones modernas.

La integración de pisos piezoeléctricos en edificios nuevos representa una oportunidad única para aprovechar la energía mecánica del entorno urbano, generando electricidad de manera sostenible y complementando las soluciones actuales de energía renovable, este proyecto aspira a contribuir al desarrollo de tecnologías que promuevan la eficiencia energética y la sostenibilidad en las construcciones del futuro, mientras se abordan los desafíos técnicos, económicos y de diseño asociados a la implementación de esta tecnología en aplicaciones reales.

Resumen ejecutivo

El objetivo fundamental de esta investigación es desarrollar una alternativa novedosa para la generación de energía en edificaciones nuevas, a través de la incorporación de pisos con propiedades piezoeléctricas, este propósito abarca la evaluación del rendimiento energético, la sostenibilidad y la viabilidad económica de dicha tecnología; la investigación se estructura en varias fases críticas.

En primer lugar, se llevarán a cabo pruebas de rendimiento para evaluar la eficiencia en la generación de energía a partir de la presión aplicada sobre los pisos, así como la durabilidad del sistema. Posteriormente, a partir del análisis de las baldosas piezoeléctricas, se identificarán y seleccionarán los materiales más adecuados para su fabricación, considerando tanto materiales naturales como el cuarzo, el rubidio y la turmalina, como materiales ferroeléctricos tales como cerámicas de plomo zirconato titanio, fluoruro de polivinilideno y cristales sintéticos

Además, se efectuará una revisión detallada de la literatura existente sobre la aplicación de la tecnología piezoeléctrica en la construcción, con el objetivo de identificar las mejores prácticas y avances recientes en el campo, es importante destacar la versatilidad del acabado de estos pisos, que puede ser compatible con diversos materiales como madera, PVC y cerámicas, así como la instrumentación eléctrica necesaria para la medición del voltaje generado. (Repsol, 2023)

En cuanto a la metodología, se construirá un prototipo de baldosa piezoeléctrica que permite entender el concepto de la tipología de energía que se genera, es decir que a partir de sensores piezoeléctricos reales y de fácil acceso en el mercado, se fabricará a escala de laboratorio. Este prototipo será sometido a pruebas controladas para evaluar su rendimiento bajo diferentes

condiciones y frecuencias de carga. Además, se realizará un análisis detallado de costo-beneficio para determinar la viabilidad económica de implementar esta tecnología en edificaciones nuevas.

Los resultados obtenidos de este estudio tienen el potencial de demostrar la capacidad de la tecnología piezoeléctrica para contribuir significativamente a la generación de energía en edificaciones nuevas. Sin embargo, es fundamental reconocer que aún se requiere una investigación adicional para optimizar el diseño y la construcción de las baldosas piezoeléctricas, así como para evaluar su desempeño a largo plazo.

Identificación del producto, servicio o investigación

A partir de la investigación preliminar se logró identificar una serie de obstáculos que impiden la adopción de las energías renovables en el contexto de la construcción, estos desafíos se centran en tres áreas principales: la sociedad, la economía y la falta de conocimiento, a nivel social, la baja conciencia ambiental, la resistencia al cambio y la desinformación son factores también limitantes, por otro lado desde una perspectiva económica, los altos costos iniciales, la falta de un mercado desarrollado y los bajos incentivos económicos desaniman la inversión.

Finalmente, la falta de conocimiento sobre las tecnologías renovables, la escasa formación académica y la falta de investigación son barreras significativas, dado este panorama es imperativo fomentar la transición hacia un modelo energético más sostenible, implementar medidas que incluyan educación, incentivos económicos, investigación, políticas públicas y colaboración entre diferentes actores.

Objetivos

General

Desarrollar una solución innovadora para la generación de energía en edificaciones nuevas mediante la integración de pisos con propiedades piezoeléctricas, evaluando su rendimiento energético, sostenibilidad y viabilidad económica.

Específicos

Realizar pruebas de rendimiento en condiciones reales para evaluar la eficiencia en la generación de energía a partir de la presión aplicada y la durabilidad del sistema en condiciones normales de uso.

Seleccionar materiales adecuados con propiedades piezoeléctricas para su integración en pisos de edificaciones nuevas.

Realizar una revisión de la literatura existente sobre tecnologías piezoeléctricas aplicadas a la construcción, incluyendo tesis, artículos científicos y otras investigaciones, para identificar las metodologías empleadas y los resultados obtenidos

Determinar los costos de elaboración, retorno de inversión y los beneficios económicos asociados con la adopción de esta tecnología en edificaciones nuevas.

Enunciado Holopráxico

¿Cómo aprovechar las energías alternativas en edificaciones nuevas?

Mercado y cantidad de clientes potenciales

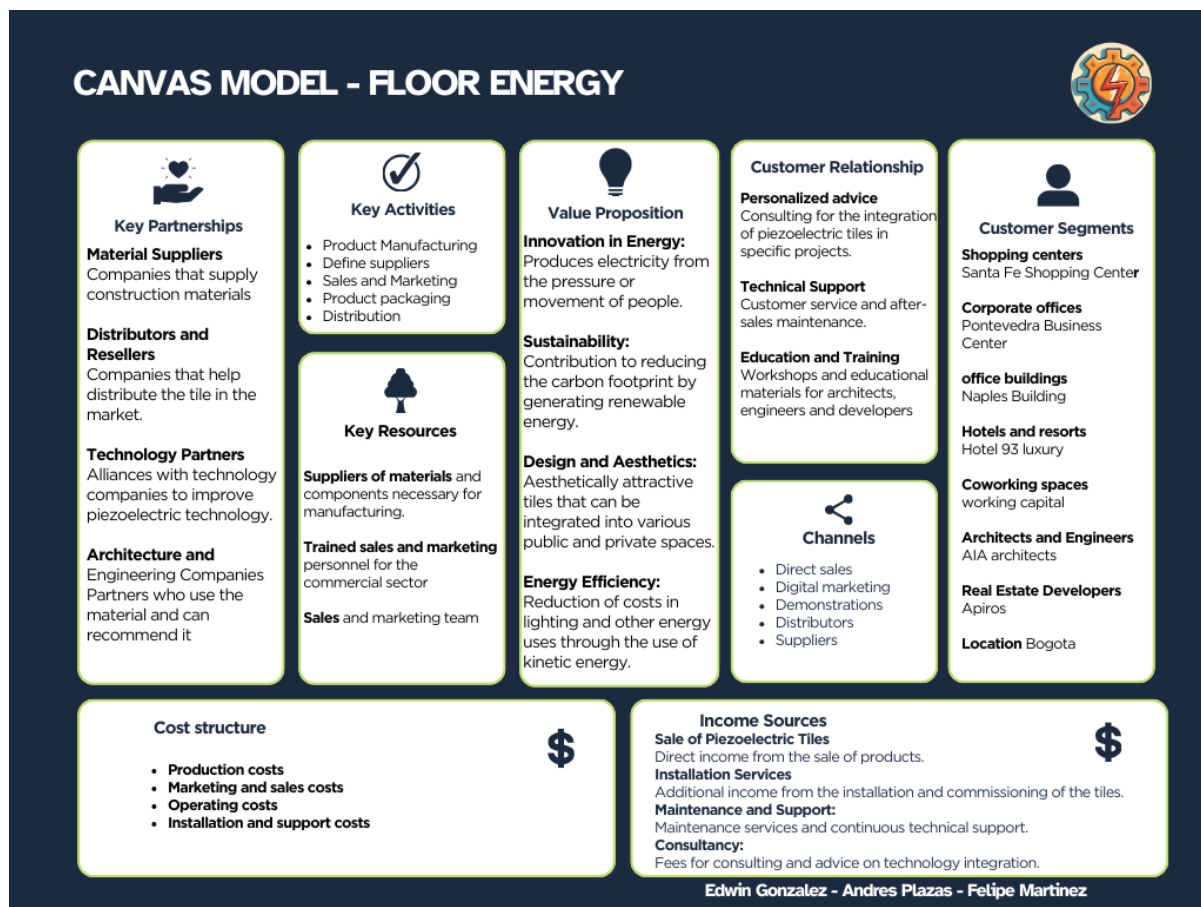
Edificaciones que pertenecen al sector comercial: centros comerciales, locales, corredores comerciales

Tabla 1 Segmento del mercado

Desarrolladores Inmobiliarios y Constructoras	Grupo de constructoras y desarrolladores sostenibles	Gobiernos y Entidades Públicas	Centros Comerciales y Espacios Públicos
Constructora capital	Simgea	Casa de Nariño	Centro comercial San Martín
Apiros	Grupo Empresarial OIKOS	Capitolio Nacional	Centro Comercial Gran estación II
FH constructores	Aldea Proyectos S.A.S	Biblioteca Nacional	Mallplaza NQS
IC constructora	Constructora bolivar	Placion Lievano	Centro mayor Centro Comercial
Constructora Grupo Solerium	Conaltura	Plaza nuñez	Centro Comercial Paseo Villa de Rio
Constructora Amarilo	Constructora Colpatría	Ministerio de trabajo	Centro Comercial Plaza España
Constructora Bolívar	Las Galias	Cámara de comercio	Centro Metrópolis
Cumbrera	Arrecife	Camacol	Multiplaza Centro Comercial
AR construcciones		Secretarías distritales	Centro Comercial Plaza Central
Constructora miramont		Consejos del estado	Centro Comercial Andino
Tribu Developers			
Desarrollos inmobiliarios futuro S.A.S			

Fuente: Elaboración propia, 2025

Ilustración 1 Canvas



Fuente: Elaboración propia, 2025

Idea de negocio del proyecto empresarial

Nombre del proyecto empresarial

Baldosas piezoeléctricas, Floor Energy S.A.S

Actividad del proyecto empresarial

Fabricación y Comercialización de Soluciones de Energía Renovable Integrada en Construcción.

Código CIIU (Colombia): 2790 (Fabricación de otros equipos eléctricos).

Actividad principal en la Producción de baldosas piezoeléctricas para generación de energía limpia.

Enfocada al mercado de las ventas a constructores, desarrolladores inmobiliarios y entidades gubernamentales y a clientes interesados.

Sector productivo en que se encuentra la empresa

La empresa se enmarca en el sector productivo de bienes industriales con enfoque en tecnologías limpias y construcción sostenible, específicamente dentro de la fabricación de sistemas piezoeléctricos integrados en infraestructura urbana. Su actividad principal es la producción y comercialización de baldosas generadoras de energía para espacios de alto tránsito, combinando materiales de construcción con componentes electrónicos avanzados (sensores PZT, circuitos integrados).

Clientes a quien se dirige el proyecto

El proyecto está dirigido principalmente a tres grupos estratégicos de clientes **del Sector** comercial, incluyendo centros comerciales, aeropuertos y oficinas corporativas que buscan reducir costos energéticos e implementar soluciones sostenibles en zonas de alto tránsito, como el segundo el sector público, alcaldías y entidades educativas que requieren infraestructura inteligente para y como otro Sector enfocado en el área residencial de desarrolladores de vivienda sostenible y propietarios con interés en tecnologías eco eficientes.

Subsector productivo del sector de la construcción en que se encuentra el proyecto empresarial.

El subsector productivo en el que se encuentra el proyecto empresarial de las baldosas piezoeléctricas es el de residencial y no residencial puede aplicar en los dos ámbitos y aplicar para esa versatilidad.

Objetivos de la empresa

Desarrollar una solución innovadora para generar energía en edificaciones nuevas mediante pisos piezoeléctricos.

Evaluar la eficiencia energética, sostenibilidad y viabilidad económica de esta tecnología.

Analizar el segmento de mercado para identificar oportunidades de crecimiento, clientes potenciales y definir estrategias comerciales.

Distribuir la baldosa en el mercado constructor

Razón social y logo

Floor Energy S.A.S

Ilustración 2 Logo de Floor Energy S.A.S



Fuente: elaboración propia, 2025

Referencia de los emprendedores

Andrés Felipe plazas herrera – gerente de la empresa

Edwin Fernando González - jefe de planta de producción

Juan Felipe Martínez – director comercial

Localización geográfica o virtual del proyecto

Colombia- Bogotá D.C

Ilustración 3 UPL de Bogotá D.C.



Fuente: extraída de genially.com,2025

Estudio de mercado

Análisis del sector

Las baldosas piezoeléctricas representan una innovadora tecnología dentro del sector de la construcción, con el potencial de transformar la manera en que concebimos la eficiencia energética en los edificios, este producto al generar electricidad a partir de la presión ejercida sobre sus superficies, lo que lo convierte en una solución prometedora para proyectos sostenibles. A medida que la industria de la construcción se orienta cada vez más hacia la sostenibilidad, las baldosas piezoeléctricas ofrecen una forma práctica y ecológica de generar energía renovable aprovechando el tránsito de personas.; esto las hace ideales para ser instaladas en pisos de edificios comerciales, residenciales, espacios públicos e infraestructuras urbanas.

El mercado objetivo de floor energy dentro del sector de la construcción tiene como segmento clave, el mercado inmobiliario y las constructoras de proyectos sostenibles están muy interesados en incorporar tecnologías que mejoren la eficiencia energética de los edificios. Además, las infraestructuras urbanas como aeropuertos y plazas, gestionadas por entidades públicas, pueden ser un nicho valioso debido al interés en adoptar soluciones que mejoren la sostenibilidad de las ciudades.

Desde el análisis del producto, se destacan diversas fortalezas del producto como:

Su capacidad de generar energía renovable las posiciona como una solución ecológica en un mercado cada vez más demandante de productos sostenibles, además, al ser una tecnología innovadora, estas baldosas ofrecen un alto valor agregado, especialmente para proyectos que buscan destacarse por su vanguardia tecnológica. Otra fortaleza es su potencial para mejorar la

eficiencia energética en edificios y otros espacios, lo que las hace atractivas para cumplir con normativas medioambientales.

Sin embargo, también existen debilidades a considerar como:

El costo de fabricación, asociado a la tecnología de conversión de energía piezoeléctrica, puede ser una barrera de entrada en mercados sensibles al precio. Además, al tratarse de un producto relativamente nuevo, existe un desconocimiento generalizado sobre su funcionamiento y beneficios, lo que podría dificultar su adopción tanto entre consumidores como en los profesionales del sector de la construcción.

Cabe mencionar que dentro del mercado nacional la empresa no presenta competencias directas que elaboren y comercialicen el mismo producto, únicamente compite con empresas que se encargan de producir energía limpia mediante otros métodos como paneles solares o energía eólica.

Finalmente, las estrategias de marketing se centrarse en educar al mercado y aumentar el conocimiento sobre las ventajas de floor energy. Siendo crucial implementar campañas digitales dirigidas a arquitectos, ingenieros y constructores, mediante la creación de contenido técnico, estudios de caso y demostraciones del producto.

Descripción de la situación actual del sector de la construcción en Colombia.

PIB

Tabla 2 Variaciones anuales del PIB de las edificaciones y la producción

Trimestre	PIB Nacional	PIB Construcción	PIB edificaciones	Producción residencial*	Inversión en vivienda	Producción no residencial*
2022	7,3%	6,8%	12,3%	11,7%	2,0%	11,1%
1T – 2023	2,7%	-3,1%	2,8%	2,1%	9,6%	3,9%
2T – 2023	0,3%	-2,7%	4,6%	-0,8%	-2,4%	12,9%
3T – 2023	-0,7%	-8,3%	-5,2%	-7,7%	-2,0%	1,4%
4T – 2023	0,3%	-2,1%	-1,8%	-3,5%	-8,7%	5,2%
2023	0,6%	-4,1%	-0,04%	-2,5%	-1,2%	5,9%
1T – 2024	0,7%	0,7%	-2,5%	-5,3%	-6,8%	3,8%

*La producción residencial y no residencial es tomada de los informes técnicos del DANE publicados trimestralmente. Al igual, los datos del total 2023 corresponden al promedio de los cuatro trimestres que lo componen. Fuente: DANE-Cuentas Nacionales, elaboración Camacol

Fuente: (Camacol,2022)

La tabla presenta una serie de datos sobre las variaciones anuales del Producto Interno Bruto (PIB) colombiano, con un enfoque particular en los sectores de construcción y edificaciones. La información se desglosa por trimestres desde el año 2022 hasta el primer trimestre de 2024, y se incluyen datos sobre el PIB nacional, el PIB de la construcción, el PIB de las edificaciones, la producción residencial y no residencial, la inversión en vivienda y la producción no residencial, con lo cual se presentan las siguientes tendencias a nivel general.

A pesar de que el PIB construcción tuvo una leve recuperación y empezó el año con un 0.7%, este crecimiento no refleja aun la estabilidad económica del sector

Variabilidad en el PIB de las Edificaciones, si bien el PIB de las edificaciones mostró un crecimiento significativo en 2022, su comportamiento ha sido más volátil en 2023 e inició el año a la baja.

Se refleja un gran decrecimiento en la producción de residencial en el primer trimestre del 2024 con respecto al indicador del año anterior, que significan una caída de más de 7 puntos

Se resalta que la inversión en vivienda sigue bajando y refleja preocupación ya que acumula cuatro periodos a la baja

El leve crecimiento esta incentivado por la construcción no residencial o infraestructura, que inicia un el año con una variación del 3.8%

Generación de empleo

Ilustración 4 Distribución porcentual, variación absoluta y contribución a la variación de la población ocupada según rama de actividad Total nacional

Rama de actividad	Total nacional				
	Junio 2023	Junio 2024	Distribución % 2024	Variación absoluta	Contribución en p.p.
Población ocupada	23.052	22.922	100	-130	
Administración pública y defensa, educación y atención de la salud humana	2.853	2.681	11,7	-172	-0,7
Construcción	1.627	1.497	6,5	-129	-0,6
Actividades profesionales, científicas, técnicas y servicios administrativos	1.820	1.711	7,5	-110	-0,5
Actividades artísticas, entretenimiento, recreación y otras actividades de servicios	2.033	1.927	8,4	-106	-0,5
Comercio y reparación de vehículos	4.058	4.026	17,6	-32	-0,1
Suministro de electricidad, gas, agua y gestión de desechos [^]	675	645	2,8	-30	-0,1
Transporte y almacenamiento	1.746	1.722	7,5	-25	-0,1
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	3.256	3.272	14,3	16	0,1
Actividades financieras y de seguros	428	449	2,0	21	0,1
Actividades inmobiliarias	269	346	1,5	77	0,3
Alojamiento y servicios de comida	1.601	1.686	7,4	85	0,4
Información y comunicaciones	367	491	2,1	124	0,5
Industrias manufactureras	2.316	2.469	10,8	153	0,7

Fuente: (GHEI ,2024)

En el mes de junio de 2024, el número de personas ocupadas en el total nacional fue 22.922 miles de personas. Las ramas que más restaron a la variación de la población ocupada fueron Administración pública y defensa, educación y atención de la salud humana (0,7 puntos porcentuales); Construcción (0,6 puntos porcentuales) y Actividades profesionales, científicas, técnicas y servicios administrativos (0,5 puntos porcentuales).

Sector construcción como generador de empleo

Ilustración 5 Variación anual de las relaciones laborales por sector económico

Sector	feb-23	mar-23	abr-23	feb-24	mar-24	abr-24	Variación anual 2023-2024		
							Febrero	Marzo	Abril
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	467.638	469.343	470.425	462.210	464.950	462.412	-1,2%	-0,9%	-
Explotación de minas y canteras	137.074	138.034	138.880	132.272	132.273	132.170	-3,5%	-4,2%	-
Industrias manufactureras	1.198.993	1.204.721	1.199.389	1.190.569	1.162.576	1.174.721	-0,7%	-3,5%	-
Suministro de electricidad, gas, agua y gestión de desechos	134.073	134.914	135.227	138.077	136.388	136.864	3,0%	1,1%	-
Construcción	789.903	789.172	771.439	738.775	723.210	728.032	-6,5%	-8,4%	-
Comercio y reparación de vehículos	1.540.855	1.548.348	1.540.712	1.548.341	1.515.544	1.520.704	0,5%	-2,1%	-
Transporte y almacenamiento	650.200	653.418	648.182	642.813	636.277	637.023	-1,1%	-2,6%	-
Alojamiento y servicios de comida	344.022	346.516	344.667	340.570	332.113	334.641	-1,0%	-4,2%	-
Información y comunicaciones	353.451	352.504	348.985	342.853	341.159	342.673	-3,0%	-3,2%	-
Actividades financieras y de seguros	286.293	287.663	287.136	288.356	286.167	285.351	0,7%	-0,5%	-
Actividades inmobiliarias	144.807	144.431	143.614	144.579	143.675	143.912	-0,2%	-0,5%	-
Actividades profesionales, científicas, técnicas y servicios administrativos	2.818.354	2.832.181	2.805.277	2.785.607	2.671.429	2.670.945	-1,2%	-5,7%	-
Administración pública y defensa, educación y atención de la salud humana	1.907.520	1.934.791	1.941.316	1.867.434	1.769.629	1.875.346	-2,1%	-8,5%	-
Actividades artísticas, entretenimiento, recreación y otras actividades de servicios	584.329	591.679	589.837	556.389	493.035	516.999	-4,8%	-16,7%	-

Fuente: (Relab,2024)

El cuadro refleja la relación laboral por sector económico, con lo cual se refleja la tendencia a la baja del sector construcción como generador de empleo, a pesar de que se presenta como uno

de los sectores con más participación, la desaceleración económica del sector se evidencia con la falta de generación de puestos de trabajo

Análisis de las tendencias de consumo en el mercado de la construcción

El mercado de la construcción está experimentando una transformación significativa hacia la sostenibilidad y la eficiencia energéticas. Estas son algunas de las tendencias más relevantes que favorecen la adopción de la baldosa piezoeléctrica

Sostenibilidad en la construcción

El sector de la construcción está actualmente en el centro de la conversación de desarrollo y acción climática en el mundo. Como sector seremos responsables de aproximadamente el 30% del consumo global de energía y sus correspondientes emisiones de gases efecto invernadero, y tenemos el potencial de generar impactos positivos y costo efectivos en 12 de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. **Fuente especificada no válida.**

Edificios inteligentes

Existe una creciente demanda de edificios que puedan generar su propia energía y optimizar el consumo. Las baldosas piezoeléctricas se integran perfectamente en esta tendencia, al permitir la generación de energía a partir del movimiento de las personas.

Ciudades sostenibles

El desarrollo de ciudades más sostenibles es una prioridad global. Los pisos con propiedades piezoeléctricas pueden contribuir a reducir la huella de carbono de las ciudades al generar energía limpia y renovable.

Materiales innovadores

La industria de la construcción busca constantemente nuevos materiales que sean más eficientes, duraderos y respetuosos con el medio ambiente. Nuestro producto encaja en esta categoría al ofrecer una solución innovadora para la generación de energía con materiales naturales

Necesidades del sector de la construcción

El sector de la construcción tiene diversas necesidades que la baldosa piezoeléctrica puede satisfacer la optimización de energía y renovación en la edificación.

Generación de energía

La posibilidad de generar energía directamente en el lugar donde se consume puede reducir la dependencia de las redes eléctricas tradicionales y disminuir los costos de energía.

Soluciones de bajo mantenimiento

Los pisos piezoeléctricos deben ser duraderos y requerir poco mantenimiento para ser una opción atractiva para los constructores.

Integración arquitectónica

Es fundamental que los pisos piezoeléctricos se integren de manera estética y funcional en los diseños arquitectónicos.

Costos competitivos

Para que la baldosa piezoeléctrica sea ampliamente adoptada, es necesario que su costo sea competitivo en comparación con otras soluciones energéticas.

Eficiencia

La eficiencia de la conversión de energía mecánica en energía eléctrica es un factor clave para el éxito de la tecnología, entonces se pensará en una arquitectura de diseño óptimo para la utilización de la energía.

Condiciones tecnológicas a nivel nacional e internacional para la producción del bien o servicio

La tecnología piezoeléctrica ha avanzado notablemente a nivel internacional, especialmente en países como Japón, Estados Unidos y naciones europeas, donde se ha implementado en espacios públicos; infraestructura inteligente y sistemas de energía autónoma. Empresas como Pavegen (Reino Unido) han demostrado su viabilidad comercial con pisos que generan electricidad en estadios y centros comerciales, utilizando materiales como PZT (Plomo Zirconato Titanato) y PVDF (Fluoruro de Polivinilideno), que ofrecen eficiencias de conversión energética entre el 10% y 20%. Sin embargo, los altos costos de producción y la necesidad de integración con sistemas de almacenamiento siguen siendo retos importantes.

En Colombia, el desarrollo de esta tecnología es incipiente pero prometedor, gracias al creciente interés en construcciones sostenibles y políticas como la Ley 1715 de 2014; las cuales incentivan las energías renovables, no obstante el país enfrenta desafíos clave, como la dependencia de importaciones de materiales piezoeléctricos eficientes, la falta de infraestructura especializada para su fabricación y un limitado conocimiento técnico en su aplicación práctica, aunque universidades como la Universidad Nacional y la Universidad de los Andes han investigado el tema, los avances aún no se han trasladado a escala industrial.

Comparativamente, mientras países líderes ya cuentan con aplicaciones comerciales y subsidios para estas tecnologías, Colombia está en una fase de exploración, con prototipos experimentales y un mercado por desarrollar; para cerrar esta brecha, se requieren alianzas con proveedores internacionales, mayor inversión en investigación y desarrollo adaptado a condiciones locales y políticas que fomenten su adopción en proyectos de construcción sostenible, aunque las baldosas piezoeléctricas representan una oportunidad única para la generación de energía en edificaciones, su éxito en Colombia dependerá de la capacidad para integrar avances globales con soluciones adaptadas al contexto local, respaldadas por incentivos económicos y colaboración entre el sector académico, empresarial y gubernamental.

Desarrollo tecnológico e industrial del sector y mercados objetivos

La tecnología piezoeléctrica aplicada a la construcción ha evolucionado significativamente en los últimos años, impulsada por la necesidad de soluciones energéticas sostenibles. A nivel industrial, se destacan los siguientes avances:

Materiales de Alta Eficiencia: Se han optimizado cerámicas piezoeléctricas (como el **PZT**) y polímeros flexibles (como el **PVDF**), mejorando su capacidad de generación eléctrica y resistencia al desgaste en ambientes de alto tráfico.

Sistemas de Integración Energética: Se han desarrollado circuitos electrónicos para maximizar la recolección y almacenamiento de la energía generada, permitiendo su uso en iluminación, sensores y sistemas de bajo consumo.

Diseños Arquitectónicos Adaptativos: Las baldosas piezoeléctricas ahora se fabrican con acabados estéticos (similares a pisos convencionales de cerámica, madera o PVC) para facilitar su integración en proyectos comerciales y residenciales.

Mercados Objetivo

El mercado objetivo se concentra principalmente en el sector comercial, donde destacan centros comerciales, locales de alta afluencia y oficinas corporativas con certificaciones sostenibles, que pueden aprovechar el tránsito constante para maximizar la generación energética.

Sector Comercial (Principal Mercado Objetivo)

Centros Comerciales y Locales de Alta Afluencia: Corredores peatonales, entradas y áreas comunes donde el tránsito constante maximiza la generación de energía.

Oficinas Corporativas y Hoteles: Edificios con certificaciones sostenibles (LEED, CASA) que buscan reducir su huella de carbono.

Aeropuertos y Estaciones de Transporte: Espacios con flujo masivo de personas, ideales para pilotos de generación energética.

Sector Institucional y Público

Edificios Gubernamentales: Proyectos alineados con políticas de eficiencia energética (ej. Ley 1715).

Universidades y Hospitales: Instituciones con altos consumos energéticos y compromiso con la innovación sostenible.

Estrategia de Penetración de Mercado

Para penetrar estos mercados, la estrategia propuesta incluye una fase piloto con demostradores en espacios públicos clave, un modelo de negocio enfocado en constructores y desarrolladores, y el aprovechamiento de mecanismos de financiamiento verde. La proyección industrial en Colombia muestra un potencial significativo, siempre que se desarrollen cadenas de suministro locales, se fortalezca el marco regulatorio, se promuevan alianzas entre academia y empresa para la transferencia tecnológica.

Análisis del mercado

Dentro del plan de negocios de piso tech solutions para abordar el proyecto es crucial identificar y analizar los segmentos de mercado relevantes, cada uno de los segmentos del mercado presentados a continuación exponen oportunidades y desafíos específicos, para adaptar la propuesta de valor de la investigación y maximizar su aceptación y adopción en el mercado de la tecnología, construcción y sostenibilidad.

Segmento de clientes: Incluye propietarios de Viviendas, personas interesadas en mejorar la eficiencia energética de sus hogares y reducir sus costos energéticos. Empresas que construyen casas y apartamentos que buscan añadir características sostenibles para atraer compradores conscientes del medio ambiente.

Segmento Residencial: Este segmento incluye viviendas unifamiliares, apartamentos y complejos residenciales. Los propietarios y constructores en este sector pueden estar interesados en integrar pisos piezoeléctricos como una solución innovadora para reducir costos energéticos y mejorar la sostenibilidad de sus propiedades.

Segmento Comercial (Este es el segmento escogido para el producto) Incluye oficinas, centros comerciales, restaurantes y otras instalaciones comerciales. Las empresas en este segmento podrían ver los pisos piezoeléctricos como una manera de reducir su huella de carbono y destacar su compromiso con la sostenibilidad.

Segmento Institucional: Comprende edificios gubernamentales, escuelas, universidades y hospitales; las cuales a menudo tienen objetivos de sostenibilidad, eficiencia energética y pueden beneficiarse de la implementación de tecnología piezoeléctrica para reducir sus costos operativos.

Segmento Industrial: Incluye fábricas, almacenes y centros de distribución; en este segmento, el producto es de interés para empresas que buscan innovar en sus instalaciones y mejorar la eficiencia energética

Segmento de la Construcción de Edificaciones Nuevas: Comprende desarrolladores y constructores que se especializan en proyectos de nueva construcción, estos actores del mercado podrían estar interesados en incorporar tecnologías sostenibles desde el inicio de sus proyectos para ofrecer edificaciones más eficientes y atractivas en el mercado.

Segmento de Renovación y Remodelación: Incluye propietarios y empresas que se dedican a la renovación y remodelación de edificios existentes.

Segmento de Innovación y Tecnología: Incluye s empresas de tecnología y centros de investigación que están interesados en nuevas tecnologías de energía sostenible. Estos actores pueden ser socios estratégicos para el desarrollo y la comercialización de la tecnología piezoeléctrica.

Estimación de la cantidad de producto o servicio que compran los clientes

potenciales.

La estimación de la cantidad de producto que compran los clientes potenciales para el primer año de operaciones de la empresa de baldosas piezoeléctricas se proyecta en **2.400 unidades**, con una distribución estratégica orientada principalmente hacia tres sectores clave: **espacios comerciales, constructoras y entidades gubernamentales**. Esta proyección parte del análisis de mercado, el interés creciente en soluciones tecnológicas sostenibles y las oportunidades en infraestructura pública y privada con criterios de eficiencia energética.

Con base en esta proyección de demanda, la empresa ha estructurado un ciclo productivo flexible capaz de cubrir las 2.400 unidades durante el primer año, distribuidas de forma escalonada en función de la firma de contratos y cronogramas de instalación. La producción se organizará en lotes de 200 a 300 unidades por mes, ajustándose a las condiciones del cliente, tipo de proyecto y ubicación geográfica.

Estimación del precio al que compran el producto o servicio los clientes potenciales

A continuación, se presenta la **estimación del precio de venta del producto** para los clientes potenciales, considerando los costos involucrados y el valor de mercado adecuado para cubrir la operación, asegurar rentabilidad y responder a las expectativas del sector objetivo:

Precio de venta estimado para clientes potenciales

Con base en el análisis de costos directos e indirectos, se ha establecido el siguiente precio para la baldosa piezoeléctrica:

Precio unitario por baldosa: \$265.574 COP

Precio por caja de 5 baldosas: \$1.327.868 COP

Este precio resulta de integrar los siguientes componentes fundamentales:

Costos fijos asociados a producción, personal y estructura operativa:

Total mensual estimado en \$334.850 COP, distribuidos proporcionalmente entre las unidades producidas, especialmente durante el primer año (2.400 unidades previstas).

Valor APU por metro cuadrado:

El Análisis de Precios Unitarios (APU) para 1 m² de instalación de baldosa piezoeléctrica, incluyendo materiales, instalación, componentes electrónicos y logística asciende a **\$1.017.214COP/m²**.

Justificación del precio propuesto

Valor percibido por el cliente:

Aunque el costo por baldosa es superior al de una baldosa convencional, el valor agregado por su capacidad de generación de energía, monitoreo de pisadas y sostenibilidad la posiciona como una solución innovadora en el mercado.

Comparación con tecnologías alternativas:

Frente a paneles solares o sensores inteligentes convencionales, esta solución ofrece energía cinética sin necesidad de espacio aéreo ni instalación en altura, lo que la hace viable para áreas peatonales y zonas de alto tráfico.

Segmento de mercado objetivo dispuesto a pagar por innovación:

Constructoras sostenibles, entidades gubernamentales y centros comerciales valoran no solo el

retorno energético, sino también el valor reputacional y tecnológico del producto, lo que justifica un precio superior al promedio del mercado de acabados tradicionales.

Estimación de la frecuencia de la compra del producto o servicio por parte de los clientes potenciales.

La frecuencia de compra dentro del segmento es relativamente estable y regular, con frecuencia a expandirse a mayor escala teniendo en cuenta la nueva adopción de tecnologías sostenibles y en este caso una aún más llamativa, al proporcionar energía e incrementar el costo – beneficio del espacio en donde se implementen las baldosas piezoeléctricas de floor energy.

En el sector comercial al poseer espacios con tráfico peatonal alto como centros comerciales, aeropuertos o universidades, podrían realizar compras semestrales o trimestrales, ya sea para nuevas zonas o ampliaciones graduales, este segmento ofrece potencial para recompra más frecuente, especialmente si el sistema demuestra beneficios energéticos, de censado o de imagen corporativa.

Análisis de la competencia

Las matrices de análisis de competencia presentan una visión comparativa entre empresas dedicadas a la venta de materiales piezoeléctricos y aquellas enfocadas en la producción de energías alternativas, estas herramientas permiten identificar fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas en ambos sectores, destacando factores clave como innovación tecnológica, costos, sostenibilidad y posicionamiento en el mercado.

Identificación de los principales competidores.

Ilustración 6 Matriz competencia indirecta

Empresas	Producto	Descripción del producto	Características	Especificaciones	Precio de Material
 PZT	 Anillo de cerámica	<p>Cerámica personalizada especificación de Ring de 5 x 40 * 20 * 5 anillo de cerámica piezoeléctrico podemos personalizar diferentes cerámicas piezoeléctricas como sea necesario. Materiales piezoeléctricos Descripción son transductores electromecánicos: puede convertir energía mecánica en energía eléctrica y viceversa...</p>	Alta sensibilidad, bajo consumo de energía, buena estabilidad a Altas temperatura, Delgado grueso, ligero tamaño pequeño, alta presión	Tamaños: 40*20*5- Capacidad 1700±10%- Frecuencia Radial 35±5%- Frecuencia gruesa 410 (KHZ)-Peso de 5pcs	Rango de precios : 10-99 USD
 SINOCERA PIEZOTRONICS INC.	 Sensor de velocidad piezoeléctrico	Basada en acelerómetros piezoeléctricos, la serie CV-YD tiene el carácter adicional de un circuito preciso integrado de integración y salida de velocidad.	Equipado con circuito integrador de precisión utilizando el efecto piezoeléctrico de materiales piezoeléctricos amplia respuesta de frecuencia, adecuada para mediciones de velocidad de vibración pequeña	Rango de frecuencia: 4-2000Hz- Voltaje de suministro (CC):±10V-±15V-Elemento sensor Cerámica piezoeléctrica-Peso:130g	Rango de precios : 100-500 USD
 JUDEDIANZI	 Sensor cerámico piezoeléctrico	<p>1. Aplicación: aplicada en los tipos de productos de equilibradores de neumáticos 2. Características: buena estabilidad, buena consistencia y medición precisa</p>	Este producto es mas que todo utilizado en la industria automotriz, con características de una buena estabilidad, buena consistencia y medición precisa eléctrica	Frecuencia de resonancia khz +/- 10% 65 -Independencia de resonancia 100- Capacidad pf +/- 10% : 2200-Medición precisión : < 1 g	Rango de precios: 10- 150 USD
 KISTLER measure. analyze. innovate.	 Sensores de Tensión	Los sensores piezoeléctricos de tensión de Kistler pueden utilizarse para medir con alta resolución las tensiones que se producen en una estructura.	Los factores relevantes son la geometría de la estructura, el módulo de elasticidad del material y la tensión mecánica. La tensión de la estructura se transmite al elemento de medición a través de la fricción estática.	<p>Sensibilidad: 50 mV/N- Frecuencia de Respuesta: 1 Hz a 20 kHz- Rango de Temperatura de Operación: -20°C a 85°C- Dimensiones: 10 mm x 50 mm (Película piezoeléctrica)-Material del Elemento Activo: PVDF (Fluoruro de polivinilideno)-Voltaje de salida máximo: 10 V Precisión: ±1% en el rango de operación-Conectividad: Cable coaxial con conector BNC-Peso: 20 g</p>	Rango de precios \$30 a \$200 USD
 Vistrónica Tiempo Real de Electrónica	 Sensor piezoeléctrico	Estos sensores son fabricados de material cerámico piezoeléctrico de niobato de magnesio y plomo, donde los electrodos están chapados con cerámica para ser unidos con una lámina de latón o acero inoxidable	es un dispositivo comúnmente usado como sensor de vibración o de golpe, convirtiendo así la presión aplicada en señales eléctricas o cambios de voltaje.	Frecuencia resonante:3.2 ±0.3 KHz- Impedancia resonante:≤200 Ω- Capacidad estática:42000 ±10%pf-Voltaje de entrada (Vpp max):-1.5 a 30 V- Material: Latón- Temperatura de trabajo: -20° C a 70° C- Diámetro externo: 41 mm- Diámetro electrodo:23 mm	Rango de precio: \$ 0,72 USD la unidad

Fuente: Elaboración propia, 2025

Ilustración 7 matriz de competencia directa

Empresa	Producto	Descripción del Producto	Características	Precio Aproximado	
Floor Energy		 Baldosa piezoeléctrica	baldosa que genera energía a partir de pisadas, aplicaciones residenciales y comerciales.	Alta eficiencia, resistencia a condiciones moderadas, generador piezoeléctrico pzt 5w/un	250.000 m ²
Solmic		 Kit Panel Solar	Panel fotovoltaico con optimización integrada para maximizar la producción.	Sistema optimizado, gestión de energía inteligente, monitoreo remoto. 300W	1.500.000
Energía Solar Colombia	 Energía Solar	 Kit Solar Pequeño	Kit solar compacto ideal para viviendas rurales.	Paneles solares de 100W, regulador de carga, batería de litio.	1.700.000
Tesup		 Generador Eólico	Generador eólico de bajo costo, ideal para áreas rurales.	Capacidad 3kW, ideal para hogares.	3.000.000
Ecoled		 Turbina Eólico	Generador eólico para hogares y pequeñas empresas.	Generador de 800W, fácil instalación	1.754.900
Proviento		 Generador Eólico	Solución eólica para áreas sin acceso a la red eléctrica.	Eficiencia en vientos bajos, capacidad de 1kW, generador robusto.	4.000.000
Autosolar		 Panel Solar	Solución solar para zonas aisladas.	Paneles solares de alta eficiencia, sistema de monitoreo inteligente 500w.	521.000
Home center		 Generador Eólico Pequeño	Generador eólico para hogares en áreas rurales.	Capacidad de 450W, carga eficiente.	398.900
Enel Colombia		 Kit Solar Integral	Kit completo con paneles solares y generador eólico pequeño.	2 paneles de 250W, generador eólico de 500W, inversor y baterías.	2.500.000

Fuente: Elaboración propia, 2025

Análisis de la competencia, fortalezas, debilidades, participación en el mercado.

Matriz DOFA.

Fortalezas

Renovación Tecnológica: Ser pioneros en energía piezoeléctrica en baldosas, lo que ofrece diferenciación en un mercado en crecimiento de soluciones sostenibles.

Atractivo para Infraestructura Inteligente: La tecnología piezoeléctrica es ideal para proyectos de infraestructura verde y sostenible, como edificios ecológicos y espacios públicos en Colombia.

Reducción de la Huella de Carbono: Contribuye a la sostenibilidad, lo cual es valorado por instituciones y empresas que buscan cumplir metas de sostenibilidad.

Oportunidades

Apoyo Gubernamental y Alianzas Locales: Acceso a incentivos fiscales y posibles asociaciones con gobiernos locales interesados en infraestructura sostenible.

Mercado en Crecimiento para Energías Alternativas: Mayor conciencia ambiental y demanda por energías renovables en espacios urbanos, donde la energía piezoeléctrica puede implementarse en lugares de alto tráfico.

Potencial para Exportación a Mercados Vecinos: La tecnología podría ser escalable para otros países de la región con una visión hacia la sostenibilidad.

Debilidades

Costos Iniciales Elevados: La tecnología piezoeléctrica tiene altos costos de producción, lo que podría limitar la adopción inicial.

Necesidad de Educación del Mercado: Falta de conocimiento sobre la tecnología piezoeléctrica y su aplicación en baldosas, lo que puede dificultar la adopción en sectores conservadores.

Dependencia de Materiales Especializados: La mayoría de los materiales piezoeléctricos se deben importar, lo que podría generar retrasos o costos adicionales.

Amenazas

Competencia con Tecnologías Alternativas: Energías más comunes como solar y eólica podrían ser preferidas por los clientes.

Condiciones Económicas y Cambio Regulatorio: La subida y bajada de la economía en Colombia y posibles cambios en los incentivos fiscales pueden afectar el financiamiento.

Baja Adopción de Tecnologías Novedosas: Riesgo de baja aceptación inicial por parte del mercado, lo que afectaría el retorno de inversión.

Plan de marketing

Estrategia de producto o servicio.

Para garantizar el éxito en el fluctuante mercado, es esencial contar con una sólida política de marketing y ventas que coloque al cliente en el centro de todas las acciones empresariales; la globalización y el avance tecnológico están provocando una transformación en la manera en que las empresas operan, lo que exige un nuevo enfoque de gestión centrado en el marketing

estratégico. Este cambio de paradigma destaca la necesidad e importancia de reconocer el papel crucial que desempeñan los consumidores en el interés de las empresas, lo cual demanda una reorientación del producto.

La estrategia de marketing para Floor Energy S.AS está diseñada para aumentar la visibilidad del producto, educar al mercado sobre sus beneficios y fomentar su adopción en sectores clave como infraestructura pública, desarrollos residenciales y espacios comerciales. La comunicación jugará un papel fundamental al informar sobre las ventajas técnicas y sostenibles del producto, inspirar confianza a través de casos de éxito y educar a los potenciales clientes sobre cómo integrarlo en sus proyectos.

Se desarrollarán mensajes clave como “Energía con cada paso” y “Innovación sostenible para tus proyectos”, difundidos en canales tradicionales y digitales; se implementarán tácticas como la participación en eventos de sostenibilidad y construcción, donde se realizarán demostraciones prácticas del producto, y la publicación de artículos en medios especializados que destaquen la innovación tecnológica detrás de las baldosas. Además, se desarrollarán webinars y talleres educativos enfocados en explicar el funcionamiento y los beneficios tangibles del producto, respaldados por material visual como videos, infografías y estudios de caso.

Para incentivar la adopción inicial, se lanzarán proyectos piloto en espacios públicos estratégicos, especialmente en centros comerciales, para mostrar su funcionamiento en entornos reales. Estos proyectos servirán como ejemplos para atraer más clientes. También se ofrecerán descuentos y promociones a los primeros usuarios, como constructores y alcaldías, junto con paquetes integrales de instalación y mantenimiento. Las alianzas estratégicas con empresas

tecnológicas y entidades gubernamentales fortalecerán la credibilidad del producto y su integración en proyectos sostenibles.

El marketing digital será una herramienta clave en esta estrategia, maximizando el alcance y permitiendo la segmentación precisa de audiencias, se optimizará el sitio web del producto con información detallada, herramientas interactivas para calcular el impacto energético y contenido educativo. Campañas de publicidad en Google Ads y redes sociales como LinkedIn, Instagram y Facebook se enfocarán en arquitectos, urbanistas y gestores públicos, mostrando la aplicabilidad y los beneficios de las baldosas.

A través de redes sociales, se publicarán imágenes y videos que ilustren el impacto visual y ambiental del producto, mientras que en LinkedIn se compartirá contenido técnico para captar el interés de profesionales del sector.

En conjunto, esta estrategia busca posicionar las baldosas piezoeléctricas como una opción viable y eficiente para proyectos de infraestructura sostenible en Colombia. A través de una combinación de comunicación efectiva, incentivos promocionales y el uso estratégico del entorno digital, el objetivo es que el producto sea reconocido y adoptado como una solución clave para la transformación sostenible.

Definir empaque y presentación (dimensión, modulación, empaque y embalaje)

Empezaremos con las dimensiones de la baldosa que será de 30 cm x 30 cm x 2.3 cm (Largo x Ancho x Espesor). Con un peso de 3.5 kg considerando los materiales que contiene la baldosa que son la madera maciza, sensor PZT, yumbolon y electrónica integrada.

Después de estas dimensiones se analiza y se piensa en un empaque y embalaje que tendrá en la distribución de la baldosa.

Empaque Individual por Baldosa

Materiales

Caja de cartón corrugado triple onda (alta resistencia) con refuerzo interno.

Espesor del cartón: 7 mm (para soportar peso y evitar deformaciones).

Aislamiento interno:

Burbuja de aire.

Espuma EPS (poliestireno expandido) en esquinas para amortiguación.

Bolsas anti-humedad (silica gel) para evitar condensación.

Dimensiones del empaque:

Empaque para Distribución (embalaje)

Contenido por caja: 5 baldosas

Caja de madera contrachapada (para soportar peso y manipulación con montacargas).

Sellado con fleje plástico (para evitar aperturas accidentales).

Dimensiones de la caja

Exterior: 30.5 cm x 30.5 cm x 12 cm (ancho x largo x alto).

Definición de la Garantía y servicio de postventa.

Frente a la garantía y el servicio postventa que se aplicará en la baldosa piezoeléctrica para garantizar y responder por la calidad, seguridad, buen estado y funcionamiento del producto.

Termino (Duración)

Para el producto nuevo cuenta con una garantía es 1 año a partir de la entrega del producto.

Cobertura

La garantía cubre:

Reparación gratuita de los defectos de la baldosa, incluyendo repuestos y transporte si es necesario.

Si no hay reparación se procede a la reposición por un producto igual o de similares características, o la devolución del dinero pagado

En caso de fallas repetitivas, el consumidor puede elegir entre una nueva reparación, la devolución del dinero (total o parcial) o el cambio.

Servicio postventa

El servicio postventa está estrechamente ligado a la garantía y a las obligaciones del productor (ósea Floor Eenergy S.A.S)

Instrucciones: Al informar detalladamente las instrucciones para la instalación, uso y mantenimiento adecuado de la baldosa.

Asistencia técnica: Disponer de servicio técnico para la instalación, mantenimiento y uso, en algunos casos puede tener costo adicional si no está cubierto explícitamente por la garantía.

Repuestos y mano de obra: Aseguraremos la disponibilidad de repuestos, partes, insumos y el personal capacitado para reparaciones, también aplica fuera de los términos de vencimiento de la garantía legal, por un plazo de dos años. Los costos de reparaciones fuera de garantía son asumidos por el consumidor.

Determinar si el cliente está dispuesto a comprar el producto o servicio.

Si se puede determinar en cierto caso ya que pueden estar dispuestos a adquirir las baldosas piezoeléctricas por razones claves como el retorno de inversión tangible, ya que la energía generada reduce costos operativos, amortizando la inversión en 3 a 5 años. Otra razón del cual evidenciamos las exigencias regulatorias y certificaciones ambientales donde entramos nosotros a cumplir metas de sostenibilidad y la última razón la diferenciación competitiva que ofrece al transformar las edificaciones tradicionales en espacios inteligentes y autosuficientes, que vemos que en proyectos pilotos ya se está viendo que se valora las alternativas energéticas.

Análisis de estrategias de precio y forma de pago.

La estrategia de precios adoptada por Floor Energy S.A.S está basada en el skimming pricing, la cual es una táctica que se utiliza principalmente en el lanzamiento de nuevos productos o innovaciones tecnológicas, consiste en fijar inicialmente un precio alto para capturar un segmento específico del mercado que está dispuesto a pagar más por las ventajas y el valor

percibido del nuevo producto, a medida que el producto se establece en el mercado y comienzan a aparecer competidores, el precio se va reduciendo gradualmente, esta técnica permite a las empresas optimizar sus ingresos iniciales y recuperar rápidamente los costos de desarrollo e introducción del producto **Fuente especificada no válida..** La implementación de una iniciativa como la baldosa requiere una gran inversión inicial y a medida que van surgiendo nuevos insumos más económicos, es posible ir ajustando el precio para la fabricación, Por otro lado, debe ir acompañada de una estrategia de valor, es decir atribuir los elementos característicos que hacen del producto algo atractivo para el consumidor, aquello que lo hace diferente a los demás productos del mercado y que determina la intensidad de compra, para el caso de la baldosa piezoeléctrica de FLOOR ENERGY, se debe establecer un precio que refleje los beneficios a largo plazo del producto, como el ahorro energético y la reducción de la huella de carbono, además destacar la durabilidad del producto y bajo mantenimiento.

El análisis de precios unitarios refleja que los materiales necesarios para la fabricación de la baldosa de alto costo, específicamente los que tienen que ver con el acabado, sin embargo, es un producto nuevo en el mercado, con características que lo hace atractivo para un sector de clientes exclusivo, al cual es posible llegar con una estrategia de marketing determinada, a continuación, se desglosan los costos de fabricación en la plantilla de APU.

En cuanto a la finalización de una compra, la experiencia de pago, no es un paso más del proceso, sino un momento clave y estratégico que las empresas deben considerar como tal y aprovechar para sumar valor al propio producto y a la experiencia de compra, adaptando las posibilidades de pago a las propias necesidades del consumidor, dado que los canales de FLOOR ENERGY son exclusivos y además directos, son muchas los posibles medios de pago, sin embargo

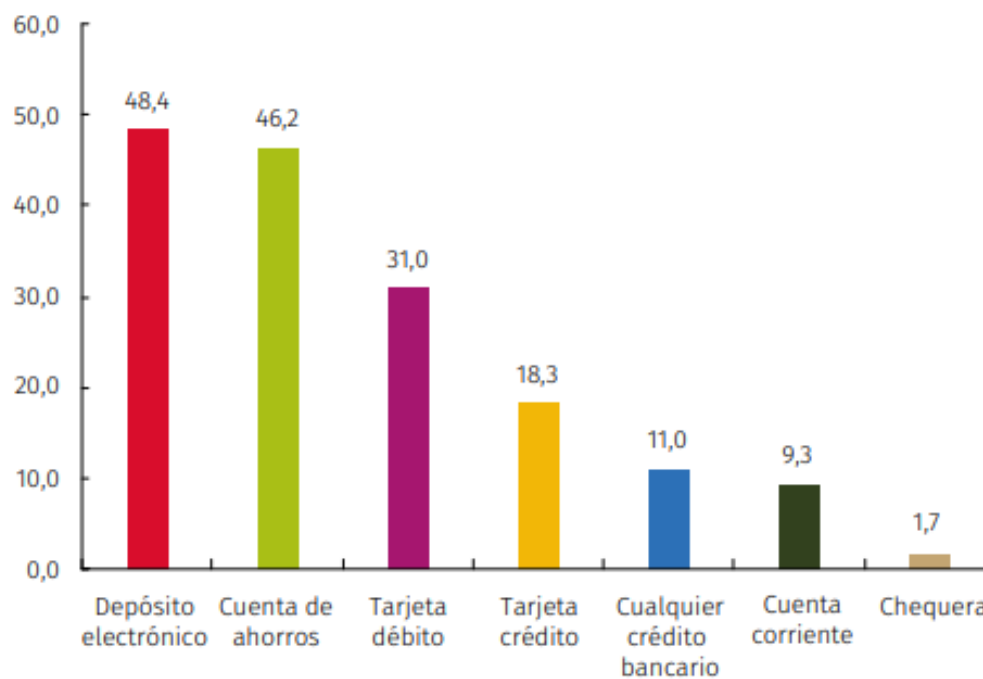
el creciente uso de transferencias electrónicas gracias a las billeteras digitales y aplicaciones bancarias, hacen de esta alternativa una oportunidad valiosa en el E-commerce, sin dejar de lado el resto de posibilidades.

Como prefieren pagar los colombianos

Ilustración 8 Tenencias de medios e instrumentos de pago

Tenencia de medios e instrumentos de pago

(porcentaje)



Fuente: Banco de la República (Epbmip).

Promoción Análisis de precios unitarios

Tabla 3 APU

DESCRIPCION	VALOR
MATERIALES	\$74.938
HERRAMIENTAS, EQUIPOS Y TRANSPORTE	\$3.520
MANO DE OBRA	\$17.600
TRANSPORTE	\$870
EMPAQUE	\$4.000
TOTAL, APU/UNIDAD	\$100.928
TOTAL, APU/M2	\$1.110.208

Fuente: Elaboración propia, 2025

El análisis de precios unitarios representa la inversión en los insumos que se requiere para la fabricación de la baldosa piezoeléctrica, dentro de estos, el ítem mas representativo es los materiales, específicamente el material piezoeléctrico quien ocupa el 30% del valor global, es importante tener en cuenta, que dependiendo del tipo de piezoeléctrico se genera mayor o menor cantidad de energía, por otro lado los demás ítems del APU, son susceptibles de optimización, puesto que temas como la depreciación de las maquinarias que es a largo plazo, permite disminuir aun mas el costo de fabricación, en cuanto a la mano de obra se debe optimizar el proceso de fabricación para aumentar la cantidad de unidades producidas por año, con el fin de reducir estos costos.

Análisis de estrategias de distribución.

El producto de baldosa piezoeléctrica es una iniciativa que satisface dos necesidades distintas por un lado, acabado arquitectónico para pisos y por otro lado es un generador de energía eléctrica, por lo cual podría ser distribuido a través de distintos canales, sin embargo, el hecho de

ser un producto nuevo lo posiciona como un producto de nicho, es decir que se enfoca en un segmento de mercado específico, las edificaciones comerciales, ya sean centros comerciales, locales o equipamientos públicos, en ese sentido, la estrategia de distribución se aplica siguiendo parámetros selectivos y exclusivos.

Canal de Distribución

selectiva y exclusiva

El producto baldosa piezoeléctrica contiene un rasgo característico de índole tecnológico, es decir que a pesar de ser un piso para dar soluciones arquitectónicas en acabados, es posible aprovechar sus cualidades de generación eléctrica para incorporarlo a la edificación dando una solución de construcción sostenible, por esta razón la distribución del producto solo podrá realizarse a través de distribuidores especializados en tecnología y almacenes de venta de pisos exclusivos, esto posicionará a FLOOR ENERGY como una empresa que ofrece calidad.

Distribución directa

En segundo lugar, FLOOR ENERGY realizará distribución directa a constructores, arquitectos y grandes proyectos para controlar la cadena de suministro y garantizar la calidad del producto, del mismo modo usar estrategias como el E-commerce permite vender baldosas piezoeléctricas en tiendas virtuales con el objetivo de llegar a un público más amplio dentro del segmento de mercado.

Logística

Para garantizar la eficiencia en la cadena de suministro de baldosas, es fundamental optimizar cada etapa del proceso. En primera instancia el almacenamiento debe realizarse en

centros estratégicamente ubicados cerca del mercado objetivo, con el fin de reducir costos de transporte y agilizar la entrega, en segundo

lugar, se debe contar con un transporte confiable para preservar la integridad de las baldosas, ya que estos productos son susceptibles de daños por impactos o condiciones climáticas adversas.

La distribución debe planificarse meticulosamente, diseñando rutas que minimicen los tiempos de entrega y aseguren la integridad del producto, ya sea directamente al cliente final o a través de una red de distribuidores, por último, las baldosas piezoeléctricas se solicitan bajo pedido, es decir solo se distribuye la cantidad que haya solicitado el cliente, esto para realizar una gestión de inventario eficaz, que apoyada de herramientas tecnológicas de pronóstico, permitirá equilibrar la oferta y la demanda, optimizando los procesos de producción y distribución (LOCOEX, 2023).

Experiencia y oportunidad

La experiencia está dada en diferentes ámbitos de la relación cliente-producto, podemos analizar la experiencia a partir de la interacción del cliente con los canales de distribución y asean virtuales o en tiendas físicas, el afinidad con el producto, si se adapta a las necesidades que busca, por otro lado el cliente busca que irse de la tienda totalmente seguro de que lo que compró es lo que fue a comprar, para ello busca asesoramiento, pregunta, indaga, toca, busca muestras y pruebas, también dentro de la experiencia establecer criterios de post venta, que no es otra cosa que la adaptación del cliente al producto que adquirió, para el caso de estudio, las baldosas piezoeléctricas, se requiere definir tres criterios:

La experiencia de compra

Permitir que el cliente pruebe todas las alternativas posibles para que compre un producto con confianza y de calidad, para ello se pueden aplicar tácticas como: plataformas en línea y asesoramiento personalizado.

Experiencia de instalación

El proceso de instalación es engorroso en la medida en que, es una obra que requiere de recursos adicionales para el cliente y termina siendo estresante, por lo cual transmitir tranquilidad al cliente definirá la intensidad de compras posteriores, algunos servicios pueden ser, guías de instalación detalladas y garantías de instalación.

Experiencia postventa

Los servicios posteriores a la compra e instalación permiten generar recordación y experiencia de marca, las baldosas requieren de este tipo de servicios por su condición de línea tecnológica, algunas que se pueden aplicar son: soporte técnico y comunidades en línea.

Oportunidad:

El sector de la construcción sostenible presenta un panorama prometedor para la comercialización de baldosas piezoeléctricas, los mercados emergentes, caracterizados por un creciente interés en la energía renovable y la eficiencia energética, ofrecen un terreno fértil para explorar nuevas oportunidades de negocio, colaborar en proyectos de infraestructura sostenible y ecoeficiencia puede posicionar a las baldosas como una solución atractiva, asimismo, las tendencias de urbanización acelerada están impulsando la demanda de soluciones sostenibles para

entornos urbanos, creando un nicho de mercado para la instalación de baldosas piezoeléctricas en espacios públicos, finalmente, es fundamental mantenerse al tanto de las políticas y programas gubernamentales que fomentan el uso de energías renovables y la eficiencia energética, ya que pueden generar oportunidades de colaboración y acceso a financiamiento, fortaleciendo aún más la posición de las baldosas piezoeléctricas en el mercado.

Estrategias de promoción y comunicación.

El proyecto busca establecer una comunicación efectiva para posicionar FloorEnergy como líder en sostenibilidad e innovación a través de baldosas piezoeléctricas. Se diseñan estrategias alineadas con los componentes clave para aumentar la visibilidad.

Marketing Digital

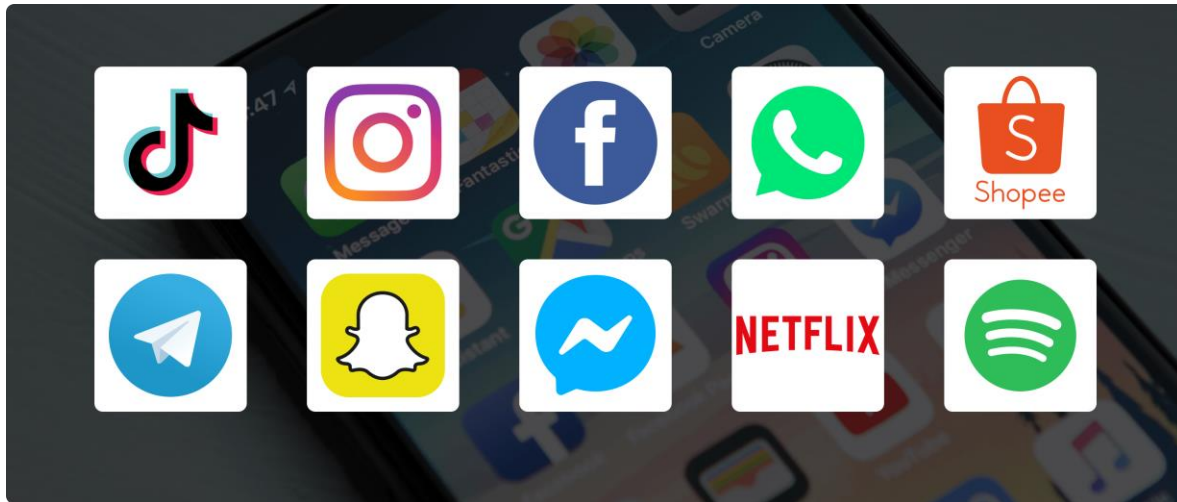
Redes Sociales

Generar audiencia y ganar interés en las aplicaciones principales

Plataformas clave

LinkedIn, Instagram, Facebook y TikTok (enfocado en contenido educativo y visual).

Ilustración 9 Redes sociales



Fuente: Fuente: (NCYT, 2024)

Estrategias

Publicar contenido visual de alta calidad (videos explicativos, infografías, renders) que muestren el funcionamiento y los beneficios de las baldosas piezoeléctricas.

Crear campañas con el hashtag, por ejemplo, #ConstrucciónConEnergía #PiezoEnergíaSostenible.

Realizar transmisiones en vivo para explicar la tecnología y responder preguntas en tiempo real (ideal para Tik Tok e Instagram).

Incentivar interacciones mediante encuestas y preguntas abiertas en las publicaciones, por ejemplo: *¿Qué energía renovable te gustaría implementar en tu hogar?*

SEO (Optimización para Motores de Búsqueda)

Aumentar el tráfico orgánico hacia el sitio web, con palabras claves "baldosas piezoeléctricas", "energía renovable en construcción", "tecnología sostenible para edificios".

Acciones en medios y revistas

Crear artículos de blog en tu página web, como: 5 Beneficios de la Piezoelectricidad en la Construcción Sostenible.

Optimizar el sitio web para tiempos de carga rápidos y diseño responsivo.

Generar backlinks mediante colaboraciones con portales de construcción y sostenibilidad.

Ilustración 10 SoftZone



Fuente: (NCYT, 2024)

SEM (Publicidad en Buscadores)

Publicidad en las diferentes modalidades de internet que ofrece Google y otras aplicaciones

Lanzar campañas en Google Ads dirigidas a arquitectos, ingenieros, desarrolladores y empresas constructoras.

Diseñar anuncios con llamados a la acción (CTA), como: "*Conoce cómo las baldosas piezoeléctricas pueden reducir tus costos energéticos. ¡Descúbrelo ahora!*".

Utilizar extensiones de anuncios para destacar beneficios clave, como sostenibilidad, ahorro de costos, y personalización estética.

Ilustración 11 google ads



Fuente: (NCYT, 2024)

Email Marketing

Informar y convertir clientes potenciales a empresas constructoras, a construcciones gubernamentales, y desarrollos urbanos.

Crear una base de datos segmentada con los potenciales clientes

Enviar boletines mensuales con: Información educativa (*¿Qué es la energía piezoeléctrica?*) y Promociones especiales para proyectos piloto o descuentos por volumen.

Automatizar correos de seguimiento para usuarios que descarguen contenido gratuito como e-books o white papers.

Ilustración 12 Nondedet



Fuente: (LOCOEX, 2023)

Contenido de Alta Calidad

Publicación de videos exponiendo nuestro producto, y explicando cómo funciona qué ventajas tiene y dando una mejora de imagen de nuestro producto

Crear videos educativos para YouTube, Tik Tok, Instagram y Facebook sobre cómo funcionan las baldosas piezoeléctricas y sus aplicaciones en la vida real.

Publicidad Tradicional

1. Revistas Especializadas

Publicar anuncios en revistas como Construcción y Diseño, Arquitectura Sostenible, y otras publicaciones relacionadas con la construcción y la tecnología.

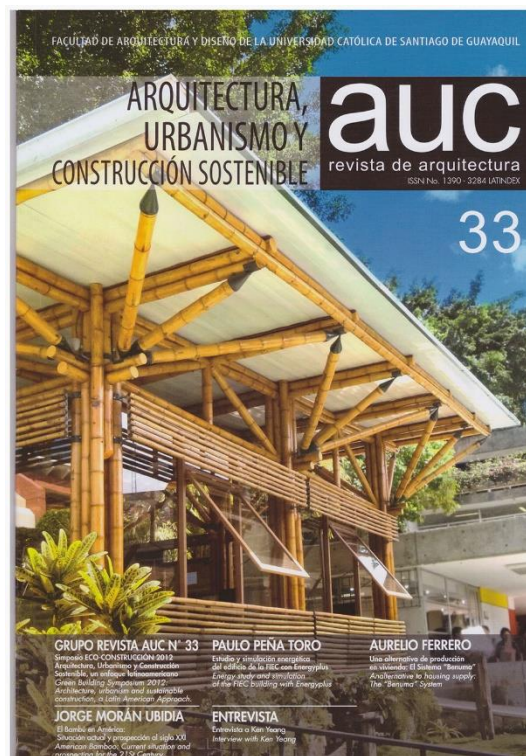
Diseñar anuncios con imágenes impactantes de las baldosas instaladas en entornos reales, destacando los beneficios sostenibles.

Ilustración 13 AUC

2. Ferias y Eventos del Sector

Participar en ferias como Expo Construcción y Expo Diseño, donde se puede montar un stand interactivo con demostraciones en vivo de las baldosas piezoeléctricas.

Distribuir folletos y materiales informativos a los asistentes, incentivándolos a registrarse para recibir más información por correo electrónico.



Fuente: AUC,2012

Relaciones Públicas

Medios de Comunicación

Enviar comunicados de prensa a medios especializados en construcción y sostenibilidad, destacando la innovación detrás de las baldosas piezoeléctricas.

Ofrecer entrevistas con los desarrolladores del proyecto para explicar los avances y el impacto potencial.

Líderes de Opinión

Identificar líderes del sector, como arquitectos sostenibles, y colaborar con ellos para que compartan su experiencia con las baldosas.

Realizar visitas guiadas con periodistas las instalaciones piloto para mostrar el producto en acción.

Alianzas Estratégicas

Colaborar con asociaciones profesionales del sector, como Camacol o gremios de arquitectos, para organizar charlas y talleres educativos sobre la tecnología piezoeléctrica.

Medios de comunicación

Dentro de los medios de comunicación tenemos varios medios especializados de en construcción y sostenibilidad, medios con interés e innovación y tecnología y medios digitales especializados. Como, por ejemplo:

Arquitectura y Construcción (Revista): Enfocada en nuevas tendencias de diseño y materiales innovadores.

<https://www.arquitecturayconstruccion.com>

El Espectador – Sección Medio Ambiente y Ciencia (Colombia): Reconocido medio nacional con gran alcance, ideal para divulgar proyectos sostenibles.

<https://www.elespectador.com>

Plataformas como ArchDaily: Enfocadas en diseño arquitectónico e innovación tecnológica.

<https://www.archdaily.co>

Se puede empezar a interactuar enviando comunicados con datos técnicos y casos de uso real de las baldosas, entrevistas a líderes de proyectos e invitar a medios especializados a demostraciones de la tecnología en ferias o instalaciones piloto.

Publicidad: Logo, identidad cromática y eslogan

Floor Energy S.A.S

Ilustración 14 Logotipo



Fuente: Elaboración propia

Colores principales

Naranja energía (#F39C12)

Representa la energía dinámica y la innovación tecnológica que impulsa el proyecto.

Azul profundo (#2980B9)

Transmite confianza, sostenibilidad y conexión con el entorno.

Colores secundarios:

Amarillo vibrante (#F1C40F)

Evoca optimismo, creatividad y el impacto positivo de las baldosas en el medio ambiente.

Gris moderno (#95A5A6)

Simboliza la funcionalidad y la conexión con materiales de construcción.

Color de fondo

Beige claro (#FDF3E7)

Agrega calidez y naturalidad, generando equilibrio visual.

Presupuesto de Comunicación

Tabla 4 Componentes del presupuesto

REDES SOCIALES	\$	3.000.000,00
SEO Y BLOG	\$	2.100.000,00
SEM (GOOGLE ADS)	\$	2.100.000,00
CONTENIDO DE ALTA CALIDAD	\$	6.500.000,00
TOTAL, PRESUPUESTO	\$	13.700.000,00

Fuente: Elaboración propia, 2025

El presupuesto de comunicación bien distribuido entre los medios digitales como los tradicionales, permite maximizar el alcance del proyecto, establecer posicionamiento comercial y generar recordación en el público objetivo.

Presentación

El módulo propuesto captura la energía generada por el tránsito de personas y otros movimientos en las superficies donde se instala, transformándola en electricidad utilizable, lo que contribuye a reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables y a disminuir la huella de carbono. Además, esta tecnología permite una significativa reducción de los costos operativos, integrándose perfectamente con diversos acabados y materiales, las baldosas piezoeléctricas, además de ser una solución sostenible, también es un elemento arquitectónico adaptable a múltiples entornos.


Ficha Técnica

La baldosa piezoeléctrica representa una solución arquitectónica innovadora para pisos que combina estética y funcionalidad, su diseño no solo busca proporcionar un acabado visualmente atractivo, sino que también incorpora un atributo distintivo: la capacidad de generar electricidad al ser pisada. Este proceso implica la transformación de la energía mecánica en energía eléctrica, lo que la convierte en una opción sostenible y eficiente.

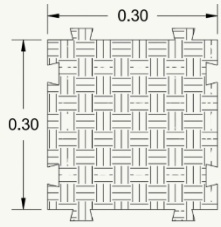
La fabricación de estas baldosas está determinada por dos parámetros fundamentales:

El primero se centra en los elementos relacionados con el acabado, que son cruciales para atraer a los compradores o posibles clientes; en este contexto, la madera se destaca como el material principal utilizado para el acabado, el segundo parámetro está vinculado al sistema piezoeléctrico, el cual juega un rol fundamental en la estructuración del circuito encargado de distribuir y almacenar la energía generada a partir del producto, para posteriormente ser puesta en uso.

Ilustración 15 Ficha técnica



FICHA TÉCNICA

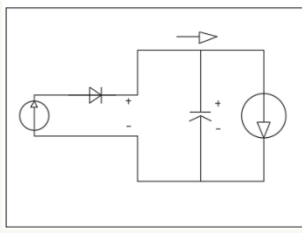


Elaboración Propia

DESCRIPCIÓN GENERAL

Baldosa piezoeléctrica
Dimensiones
Largo 30 cm
Ancho 30 cm
Espesor 2.3 cm

INTEGRADO ELÉCTRICO



Elaboración Propia

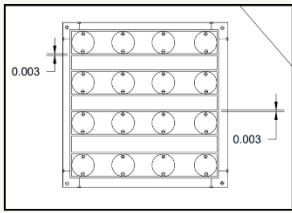
Integrado electrónico permite que la energía producida por el generador piezoeléctrico se retenga y además que se pueda ser almacenada y luego usada en las aplicaciones determinadas, para ello se integran dispositivos electrónicos estándar del mercado

Carga Iluminación led
Condensador Referencia CBB61 4uf 450 V
diodo zener de 2v
Material piezoeléctrico sensor PZT

MATERIALES

Sensor piezoeléctrico
Dispositivo que convierte la energía mecánica (como presión, vibración o aceleración) en energía eléctrica. Funciona bajo el principio de piezoeléctricidad donde ciertos materiales generan una carga eléctrica en respuesta a una fuerza aplicada.

Diámetro electrodo 23 mm
Diámetro externo 41 mm
Carga de salida 10 voltios aprox por pisada (promedio peso 70kg)
Temperatura de trabajo -20 °C c a 70 ° C
Material Latón

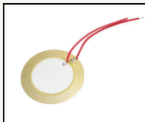




Elaboración Propia

CABLEADO

Conjunto de hilos metálicos de cobre que cumplen la función de conducir la electricidad desde el generador piezoeléctrico hacia los contactos eléctricos, esto con el fin de transferir la energía obtenida hasta el sistema de almacenamiento que posteriormente se usará en aplicaciones determinadas

Calibre: N° 22
Capacidad: 5 Amperios

ACABADO(VINILO)

Base: PVC (policloruro de vinilo) flexible o rígido.
Capa de desgaste: Protección contra rayaduras y abrasión.
Instalación: colocación pegada en interiores
Espesor 3mm
Peso 8 Kg / m2
Conductividad térmica
Reacción al fuego- S1
Acabado: Mate
100% impermeable: Ideal para baños, cocinas o sótanos.

CARACTERÍSTICAS


Principio de funcionamiento: Efecto piezoeléctrico
Corriente máxima 0.3 mA
Voltaje 5 v
Potencia 1.5 (mW) / Pisada
Mantenimiento : Limpiezas periódicas
Aplicación Iluminación, cargador
Peso 5 Kg
Vida útil 5 años
Instalación similar a las baldosas convencionales, requiere base plana y nivelada
Durabilidad : Resistente al desgaste
Resistencia a la humedad : Baja

PRESENTACION

Empaque x 5 baldosas
Dimensiones 30 cm ancho x 30 cm largo x 12 alto
Protecciones en carton corrugado
Proteccion de esquinas maximo de apilamiento 3 cajas

DIMENSIONES

Componente	Dimensión en mm
Formato	30 x 30 cm
Espesor Total:	12 cm
Espesor acabado	3mm
Espesor yumbolon	3mm
Diámetro piezoeléctrico	4,1cm



Elaborado por Andrés Felipe Plazas- Edwin González- Juan Felipe Martínez

Área de investigación

La baldosa piezoeléctrica se sitúa en el área de investigación de energías renovables, tecnologías sostenibles, con un enfoque en la captura y conversión de energía mecánica en energía eléctrica; también abarca áreas interdisciplinarias como la nanotecnología, materiales avanzados y sistemas inteligentes aplicados a la construcción.

Abarcando la creciente necesidad de diversificar las fuentes de energía renovable en el contexto de la sostenibilidad; al aprovechar materiales piezoeléctricos, la baldosa puede generar electricidad a partir de la presión ejercida por el tránsito peatonal o vehicular, contribuyendo a la reducción del consumo de fuentes no renovables. Además, la integración en edificaciones y espacios públicos permite una optimización del uso del espacio y fomentar soluciones innovadoras en el diseño de ciudades inteligentes.

Tema de investigación

Evaluación de la viabilidad técnica y económica de implementar baldosas piezoeléctricas como fuente de energía renovable en edificaciones nuevas

Título de la investigación

Energía que camina: implementación de un generador de energía eléctrica a través de baldosa piezoeléctrica

Línea de investigación

Bajo los parámetros dados en torno a la garantía del aseguramiento de las necesidades actuales sin comprometer las futuras, la construcción sostenible toma protagonismo a través del desarrollo de la baldosa piezoeléctrica, ya que estos postulados buscan incorporar soluciones no

convencionales que reduzcan el impacto ambiental de las edificaciones, esta línea de investigación se centra en optimizar el uso de recursos, minimizar el consumo energético y fomentar la integración de sistemas renovables en edificaciones.

Tipo de investigación

La investigación es una combinación de métodos, en primera instancia usa datos cuantitativos para evaluar y definir la eficiencia de un sistema piezoeléctrico incorporado a una baldosa, por otro lado una descripción cualitativa para la comprensión y evaluación de literatura y recursos necesarios para la investigación; además se incluye investigación experimental para la validación práctica de la tecnología piezoeléctrica en un entorno controlado, esta mezcla permite identificar claramente las fortalezas y debilidades del objeto de estudio y del mismo modo implementar alternativas de solución.

Clase de investigación

Investigación Cuantitativa

La investigación cuantitativa forma parte en la evaluación del rendimiento energético de las baldosas piezoeléctricas, esta fase del estudio se centra en medir y analizar la cantidad de energía eléctrica generada en función de la presión aplicada sobre los pisos, así como en determinar su eficiencia y durabilidad; para ello se desarrollan pruebas controladas con el fin de obtener datos numéricos precisos sobre el rendimiento del sistema piezoeléctrico, permitiendo la evaluación y la comparación con otros métodos de generación de energía.

Investigación Cualitativa

La investigación cualitativa genera un análisis de la literatura existente sobre la tecnología piezoeléctrica en la construcción, así como en la selección de materiales adecuados para la fabricación de las baldosas; este enfoque cualitativo del estudio incluye la revisión de avances recientes, mejores prácticas y la compatibilidad de los acabados de los pisos con diferentes materiales de construcción como madera, PVC y cerámicas, también aborda la viabilidad económica y la sostenibilidad que ofrece el sistema piezoeléctrico, así proporcionando una comprensión de las implicaciones y beneficios potenciales de la integración del producto.

Investigación Experimental

El enfoque experimental se lleva a cabo mediante la construcción y prueba del prototipo, con el fin de elaborar un modelo a escala de laboratorio que incorpora un material piezoeléctrico real y se pondrá bajo diversas pruebas para evaluar su rendimiento bajo diferentes condiciones y frecuencias de carga.

Las pruebas permitirán observar de manera directa cómo el prototipo responde a diferentes variables, proporcionando información determinante sobre su eficacia y funcionalidad. Además, el análisis de costo-beneficio también tiene un componente experimental, ya que evaluará la viabilidad económica de implementar la tecnología en condiciones reales de construcción.

Cuadro de variables

El cuadro de variables (revisar anexo) organiza y clasifica una serie de materiales utilizados en el desarrollo de las baldosas, distribuyéndolos en dos categorías principales: materiales para revestimiento y materiales piezoeléctricos, cada una con subgrupos representativos que facilitan

su análisis y selección; la tabla también destaca, mediante un tono rojo, aquellos materiales seleccionados por sus propiedades específicas y su idoneidad para el producto en desarrollo.

En el primer grupo, materiales para revestimiento, se identifican tres subgrupos principales: madera, porcelanato y cerámica. Dentro de cada subgrupo se mencionan materiales específicos, y aquellos que destacan por sus características técnicas o funcionales son marcados en rojo, estos materiales fueron seleccionados con base en propiedades como durabilidad, resistencia al desgaste, estética y facilidad de mantenimiento, que los hacen adecuados para el revestimiento superficial de las baldosas.

El segundo grupo, materiales piezoeléctricos, se subdivide en cinco categorías según su naturaleza: cerámicos, sintéticos, experimentales, naturales y poliméricos. En cada subgrupo se enumeran diversos materiales con características piezoeléctricas, destacándose en rojo aquellos que se consideran más compatibles con las especificaciones y objetivos del proyecto; la selección de estos materiales se basa en propiedades como sensibilidad piezoeléctrica, estabilidad, disponibilidad y capacidad de integración con el diseño de las baldosas.

Herramientas de investigación utilizadas

Para brindar veracidad científica y técnica al proyecto, se han seleccionado herramientas de investigación específicas que permiten abordar cada fase del estudio de manera independiente; desde la fundamentación teórica hasta la validación experimental, cada herramienta proporciona datos y perspectivas esenciales para lograr un diseño eficiente.

A continuación, se describen estas herramientas y su contribución al desarrollo del proyecto:

Revisión Bibliográfica y Documental:

Esta herramienta forma parte esencial de la primera fase del proyecto, ya que proporciona el marco teórico y contextual necesario para el diseño del sistema. La revisión incluye:

Literatura Académica: Se consultan artículos científicos, libros y tesis que analizan los fundamentos de la piezoelectricidad, sus aplicaciones y los materiales más eficientes para su implementación; permitiendo identificar brechas en el conocimiento y proponer soluciones innovadoras.

Estudios de Caso: La revisión de casos documentados, como baldosas instaladas en aeropuertos, centros comerciales y espacios públicos; ofrece datos reales sobre su desempeño, limitaciones y mejores prácticas.

Normativas y Estándares Técnicos: Se analizan las normativas locales relacionadas con la fabricación, instalación y uso de tecnologías piezoeléctricas, teniendo a la vez en cuenta las regulaciones gubernamentales para la producción de energía y las leyes que apoyan la promoción de esta misma de forma sostenible.

Software de Simulación y Diseño

La simulación computacional permite prever el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones, optimizando el diseño antes de construir el prototipo físico.

Autocad y Revit: Estos softwares de modelado son importantes para diseñar la estructura mecánica y estética de las baldosas, simulando su aspecto y convergencia con el entorno a aplicar.

MATLAB: Es una plataforma de programación usada para recopilar los datos de las señales de los materiales piezoeléctricos, analizando cómo las diferentes configuraciones afectan la conversión de energía mecánica en eléctrica, también permite realizar simulaciones de circuitos eléctricos para optimizar el diseño del sistema de recolección de energía.

Instrumentos de Medición:

Los instrumentos utilizados en la fase experimental son clave para validar las simulaciones y medir el rendimiento del prototipo:

Multímetros: Miden el voltaje y la corriente generados por las baldosas, proporcionando datos precisos sobre su eficiencia energética.

Osciloscopios: Permiten observar la forma de onda de la corriente generada, ayudando a identificar posibles inconsistencias o pérdidas en el sistema.

Pruebas Experimentales:

Las pruebas experimentales representan el puente entre la teoría y la práctica, ya que al someter el prototipo a condiciones reales y controladas; se recopilan datos que permiten ajustar y optimizar el diseño. Estas pruebas incluyen:

Cargas Simuladas: Uso de mecanismos para simular las pisadas humanas y medir la energía generada bajo diferentes frecuencias y amplitudes de carga.

Durabilidad: Ensayos prolongados para determinar la vida útil del sistema y sus límites operativos.

Material piezoeléctrico por integrar

En el desarrollo del prototipo se ha seleccionado el uso de buzzers como componente central debido a múltiples factores técnicos, económicos y prácticos que los convierten en una opción idónea para esta etapa del proyecto. Estos dispositivos funcionan basándose en el efecto piezoeléctrico, convirtiendo la energía mecánica generada por presión o vibración en energía eléctrica, esta característica es esencial para el proyecto, ya que permite transformar la energía mecánica generada por las pisadas en electricidad utilizable.

Los buzzers destacan por su alta sensibilidad a la presión, lo que les permite responder de manera eficiente incluso a fuerzas relativamente bajas, como el peso de una persona al caminar, además, su tamaño compacto y ligereza facilitan su integración en el diseño de las baldosas sin añadir un peso significativo, lo que es esencial para garantizar su funcionalidad; a la vez son dispositivos robustos, capaces de resistir múltiples ciclos de carga mecánica, lo que asegura una durabilidad adecuada para las pruebas y experimentos. (Yorobotics, 2024)

Una de las principales ventajas de los buzzers es su amplia disponibilidad en el mercado a precios relativamente accesibles a comparación de otros materiales, lo que resulta favorable para la etapa de investigación, permitiendo reducir los costos iniciales sin comprometer la calidad. Además, su variedad de formas y tamaños facilita la adaptación a configuraciones específicas, como los diseños modulares requeridos por el proyecto. (Juliana Contreras, 2016)

Los buzzers son también compatibles con una amplia gama de circuitos electrónicos, lo que simplifica su integración con otros componentes necesarios para el prototipo, como puentes rectificadores para convertir la señal alterna en corriente continua, condensadores para almacenar

la energía generada y sistemas de monitoreo que evalúen su rendimiento en tiempo real. **Fuente especificada no válida.**

Durante la fase experimental, los buzzers ofrecen una versatilidad significativa que permite realizar pruebas en diferentes configuraciones, como conexiones en serie o paralelo, y evaluar cómo estas afectan la generación de voltaje y corriente; son ideales para analizar el impacto de variaciones en las resistencias y cargas externas, lo que facilita la optimización del diseño eléctrico y mecánico.

Si bien existen alternativas como las películas piezoeléctricas y transductores avanzados, los buzzers presentan ventajas únicas, como su simplicidad, bajo costo y facilidad de manejo, que los hacen especialmente adecuados para esta etapa inicial. Otras opciones, aunque ofrecen mayor capacidad o flexibilidad, suelen ser más costosas o delicadas, lo que las hace menos prácticas para desarrollar pruebas preliminares.

Técnicas e instrumentos

En la metodología planteada para el desarrollo del proyecto, se emplean técnicas que permiten evaluar cada etapa del proceso, desde el diseño y construcción del prototipo hasta la interpretación de los resultados obtenidos en las pruebas.

Una de las técnicas principales es la experimentación práctica, que se utiliza para validar el diseño del prototipo y medir su rendimiento bajo condiciones controladas. En esta etapa, se aplican ensayos como la medición de generación de energía, la durabilidad de los materiales y la respuesta del sistema a diferentes cargas mecánicas. Los instrumentos utilizados para esta técnica

incluyen multímetros digitales, osciloscopios y sensores de presión, que permiten cuantificar el voltaje, corriente y deformaciones mecánicas.

Paralelamente, se emplea la observación práctica, para registrar visualmente el comportamiento del prototipo en tiempo real, incluyendo la evaluación del impacto de diferentes configuraciones de conexión eléctrica (serie, paralelo o mixta) y la adaptación de los buzzers piezoeléctricos a las estructuras diseñadas. Para esta técnica, se utilizan cámaras de alta resolución y software de análisis de video que permiten estudiar los patrones de deformación y respuesta de los materiales a lo largo del tiempo.

Ensayos

Se han diseñado una serie de ensayos que abarcan desde la generación de energía y la resistencia mecánica hasta el comportamiento en diferentes condiciones ambientales, estos ensayos son esenciales para optimizar el diseño del sistema y garantizar su funcionalidad a largo plazo en entornos reales. A continuación, se describe cada ensayo, su metodología, importancia y contribución al proyecto.

Ensayo de Generación de Energía

Este ensayo se centra en evaluar la capacidad de las baldosas para convertir la energía mecánica generada por las pisadas en energía eléctrica utilizable; para ello, se miden parámetros como el voltaje, la corriente y la potencia generados bajo distintas condiciones de carga.

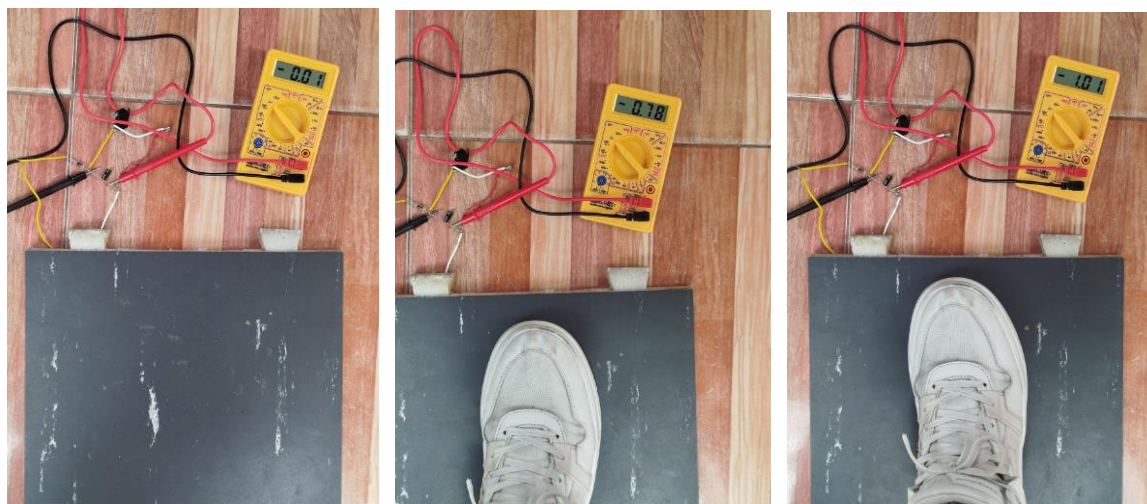
Se desarrollan pruebas en condiciones reales de uso aplicando fuerzas de entre 124 N y 240 N (el rango típico de una persona promedio de 60-80 kg). Además, se varía la frecuencia de las pisadas (de 0.5 Hz a 2 Hz) para analizar cómo los ritmos de paso influyen en la generación de

energía, los datos se registran utilizando equipos como multímetros y son registrados numéricamente con un respectivo serial de prueba para su posterior tabulación y comparación.

Este ensayo cumple el rol de establecer la eficiencia energética de las baldosas y estimar la cantidad de energía que pueden generar en entornos de alto tránsito.

Se mide la salida de la baldosa utilizando un multímetro, este permite conocer la cantidad de voltios que genera cada pisada como se muestra en la imagen

Ilustración 16 Ensayo generación de voltaje



Fuente: Elaboración propia,2025

Resultados: durante el proceso de medición se observa que, en la primera pisada se obtiene 0.78 voltios, sin embargo cuando se realiza una segunda pisada el valor sube hasta 1.01 voltios lo que quiere decir que, no es constante el valor de una pisada a la otra, se realiza promedio de los resultados obtenidos y se tabulan a continuación.

Tabla 5 Toma de mediciones

tiempo/pisada	pisadas	cantidad	unidad
1 segundo	1	0,5	voltios
		0,03	amperios
		0,015	watts
1 minuto	60	30	voltios
		0,03	amperios
		0,9	watts
1 hora	3600	1800	voltios
		0,03	amperios
		54	watts

Fuente: Elaboración propia, 2025

Dados los resultados de la medición se infiere que cada pisada va aumentando el valor del voltaje, el cual es captado por el condensador que a su vez entrega a la batería, haciendo posible la utilización de esta en aplicaciones como la carga de equipos electrónicos o iluminación led.

Ensayo de Durabilidad y Ciclo de Vida

La durabilidad de las baldosas es un aspecto fundamental para garantizar su funcionalidad a largo plazo, este ensayo evalúa cómo el sistema resiste cargas repetitivas y prolongadas, dando prueba del uso continuo en espacios públicos.

Se emplean pruebas de ciclos que aplican cargas repetitivas sobre las baldosas, buscando replicar el impacto de un día a un mes de uso constante. Posteriormente, se inspecciona el prototipo para detectar signos de desgaste, como fisuras o fallos en los sensores piezoeléctricos; también se comparan diferentes configuraciones y materiales para identificar las opciones más duraderas.

Este ensayo garantiza que las baldosas sean resistentes al desgaste mecánico y mantengan su rendimiento a lo largo del tiempo, un requisito clave para la adopción del producto en proyectos de obra nueva.

Ensayo de Resistencia Mecánica de los piezoeléctricos

Este ensayo evalúa la capacidad de las baldosas para soportar diferentes tipos de cargas, incluyendo situaciones extremas como aglomeraciones de personas o impactos accidentales los cuales son rudimentarios en espacios altamente transitados.

Se realizan pruebas de compresión mediante pisadas reales, aplicando fuerzas crecientes hasta que las baldosas alcanzan su punto de falla, además se llevan a cabo pruebas de impacto dejando caer pesos desde alturas específicas para simular golpes accidentales; durante las pruebas, se monitorean deformaciones del elemento, en las siguientes imágenes es posible observar como se deforman cuando sobrepasan su capacidad mecánica.

Ilustración 17 Resistencia mecánica de los piezoeléctricos



Durante el ensayo se evidenció que los piezoeléctricos deben ser accionados con una presión que no exceda su resistencia mecánica, para lo cual se probaron diferentes calibres de Yumbolon, material elástico que separa el acabado y los piezoeléctricos, la elasticidad de este

material permite que al accionar el piezoeléctrico, este se deforme, genere la energía y vuelva a su forma original cuando ya no tiene presión alguna.

Tabla 6 Pruebas material elástico

Material	Calibre (mm)	Resultado
Fomi	1	Durante la prueba el material piezoeléctrico se deformó excediendo su capacidad y se fracturó, dañando incluso la soldadura
Yumbolon	2	Durante la prueba el material piezoeléctrico tiene un daño moderado, sigue generando energía, sin embargo, baja la capacidad de generación.
Yumbolon	3	Durante la prueba, el material piezoeléctrico sigue estable incluso después de golpear la superficie, mantiene constante la generación de energía

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de Eficiencia Energética con Circuitos

La energía generada por las baldosas debe integrarse eficientemente en un sistema de almacenamiento y distribución, esto para analizar la interacción entre las baldosas, los circuitos eléctricos asociados y los dispositivos de almacenamiento de energía.

Las baldosas se conectan a un puente rectificador, un regulador de carga y un banco de baterías, se mide la energía que fluye a través de cada componente para calcular las pérdidas en el sistema. Además, se evalúa el rendimiento del sistema al alimentar dispositivos reales, como luces LED, para garantizar que la energía almacenada pueda ser utilizada de manera práctica.

Este ensayo asegura que el sistema sea capaz de recolectar, almacenar y distribuir la energía de manera eficiente, maximizando el aprovechamiento de la energía generada por las baldosas.

Ensayo de Compatibilidad con Materiales de Acabado

La versatilidad estética de las baldosas es un aspecto importante para su integración en proyectos de obra nueva, este ensayo evalúa cómo diferentes materiales de acabado afectan el rendimiento y la funcionalidad de las baldosas.

Se prueban acabados como madera, cerámica y porcelanato, analizando su impacto en la transmisión de la energía mecánica hacia los sensores piezoeléctricos, simultáneamente se realizan pruebas de adhesión para evaluar la resistencia de los acabados al desprendimiento o desgaste.

Este ensayo asegura que las baldosas puedan adaptarse a diferentes diseños estéticos sin comprometer su funcionalidad, lo que aumenta su atractivo para una variedad de aplicaciones.

Evidencia de diligenciamiento del CvLAC

Ilustración 18 CvLAC Edwin González

Hoja de vida	
Nombre	edwín fernando gonzalez garcia
Nombre en citaciones	Edwin Gonzalez
Documento identidad	Cédula de ciudadanía 1024483043
Nacionalidad	Colombiana
Fecha y lugar de nacimiento	1988-08-03 00:00:00.0 - Colombia BOGOTÁ, D.C.
Sexo	Masculino
Dirección Profesional	
Institución	
Dirección	
Barrio	
Teléfono	
E-mail institucional	efgonzalez@unicolmayor.edu.co
Dirección Residencial	
Dirección	calle 6A N° 89-47
Barrio	tintal
Municipio	BOGOTÁ, D.C.
Teléfono	3123408426
E-mail personal	gedwinfernando05@gmail.com
Formación Académica	
<ul style="list-style-type: none"> Técnico - nivel superior UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA TECNOLOGIA EN ADMINISTRACION Y EJECUCION DE CONSTRUCCIONES Junio de 2020 - Diciembre de 2023 	

Fuente: CvLAC,2025

Ilustración 19 CvLAC Andrés Plazas

Hoja de vida	
Nombre	Andres Felipe Plazas Herrera
Nombre en citaciones	AFPH
Documento identidad	Cédula de ciudadanía 1000049510
Nacionalidad	Colombiana
Fecha y lugar de nacimiento	2002-12-26 00:00:00.0 - Colombia BOGOTÁ, D.C.
Sexo	Masculino
Dirección Profesional	
Institución	
Dirección	
Barrio	
Teléfono	
E-mail institucional	afplazas@unicolmayor.edu.co
Dirección Residencial	
Dirección	calle 62 a sur #19b-70
Barrio	Acacias sur
Municipio	BOGOTÁ, D.C.
Teléfono	3142692131
E-mail personal	plazasandres2002@gmail.com
Formación Académica	
<ul style="list-style-type: none"> Técnico - nivel superior UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA Tecnólogo en administración y ejecución de construcciones Julio de 2019 - Septiembre de 2022 	

Fuente: CvLAC,2025

Ilustración 20 CvLAC Felipe Martínez

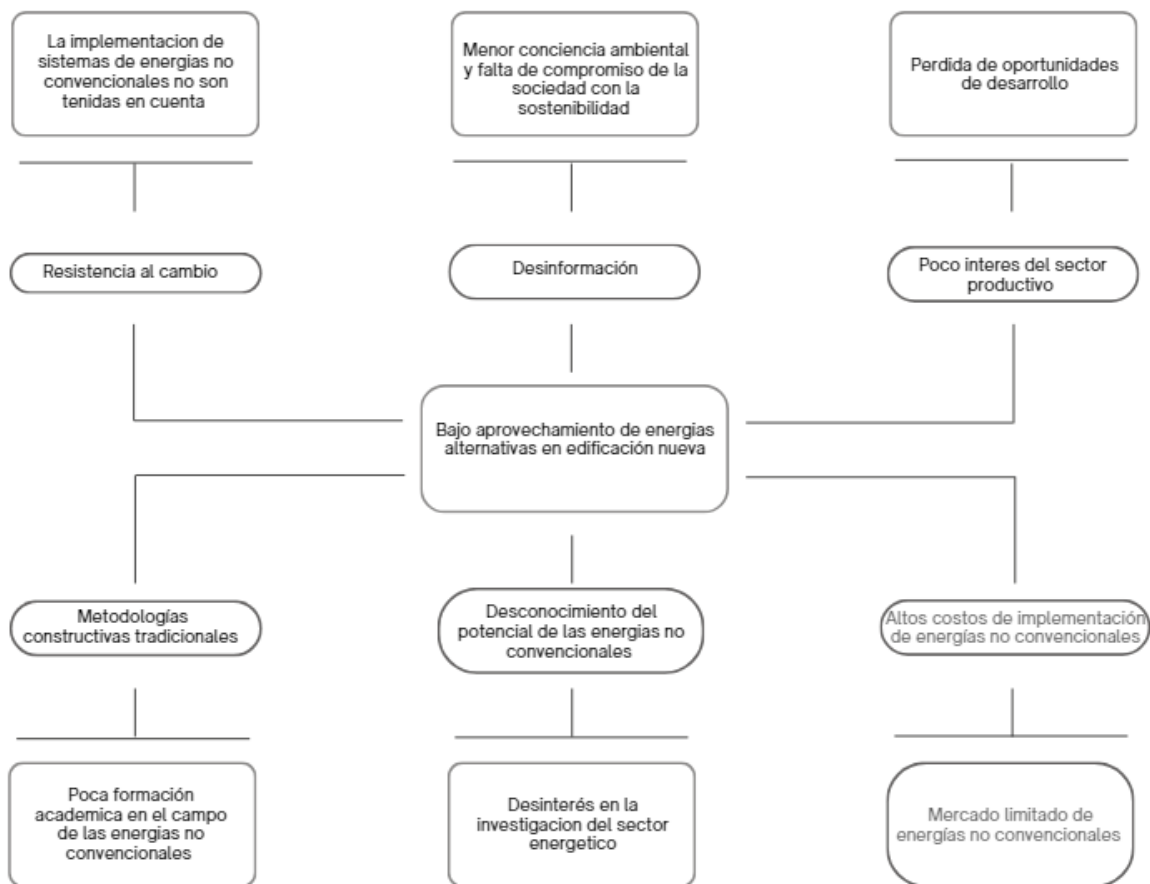
Hoja de vida	
Nombre	Juan Felipe Martínez Perez
Nombre en citaciones	J, Felipe M
Documento identidad	Cédula de ciudadanía 1001060503
Nacionalidad	Colombiana
Fecha y lugar de nacimiento	2002-02-10 00:00:00.0 - Colombia BOGOTÁ, D.C.
Sexo	Masculino
Dirección Profesional	
Institución	UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA
Dirección	Calle 136 # 126 - c 75
Barrio	La Gaitana
Teléfono	3122441188
E-mail institucional	jfelipemartinez@unicolmayor.edu.co
Dirección Residencial	
Dirección	
Barrio	
Municipio	
Teléfono	3122441188
E-mail personal	juanfelipemartinezp@gmail.com
Formación Académica	
<ul style="list-style-type: none"> Pregrado/Universitario UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA CONSTRUCCIÓN Y EJECUCIÓN EN ARQUITECTURA Julio de 2023 - Octubre de 2025 Energía que camina Técnico - nivel medio UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA Tecnología en Administración y ejecución en construcciones Julio de 2021 - Mayo de 2023 	
Áreas de actuación	
<ul style="list-style-type: none"> Ingeniería y Tecnología -- Ingeniería Civil -- Ingeniería de La Construcción 	

Fuente: CvLAC,2025

Descripción del producto o servicio

Árbol de los problemas causas y consecuencias

Ilustración 21 Árbol de problemas



Fuente: Elaboración propia 2024

Causa 1. Metodologías Constructivas Tradicionales.

Las prácticas tradicionales de construcción en Colombia están arraigadas y priorizan materiales y técnicas que no contemplan las energías alternativas o la sostenibilidad. Esto se debe

a una resistencia al cambio en el sector, influenciada por la falta de incentivos, desconocimiento sobre las ventajas de las tecnologías modernas y la percepción de riesgos en la adopción de nuevas metodologías. La formación académica limitada en energías renovables refuerza esta dependencia de las prácticas convencionales.

Causa 2. Desconocimiento del Potencial de las Energías No Convencionales.

La falta de educación y divulgación en torno a las energías renovables limita su implementación en proyectos de construcción, esto se traduce en una percepción errónea sobre su viabilidad y beneficios. A pesar de las políticas que promueven energías sostenibles, como la Ley 1715 de 2014, la información no ha permeado adecuadamente hacia los desarrolladores y constructores, lo que reduce el aprovechamiento de estas alternativas en edificaciones nuevas.

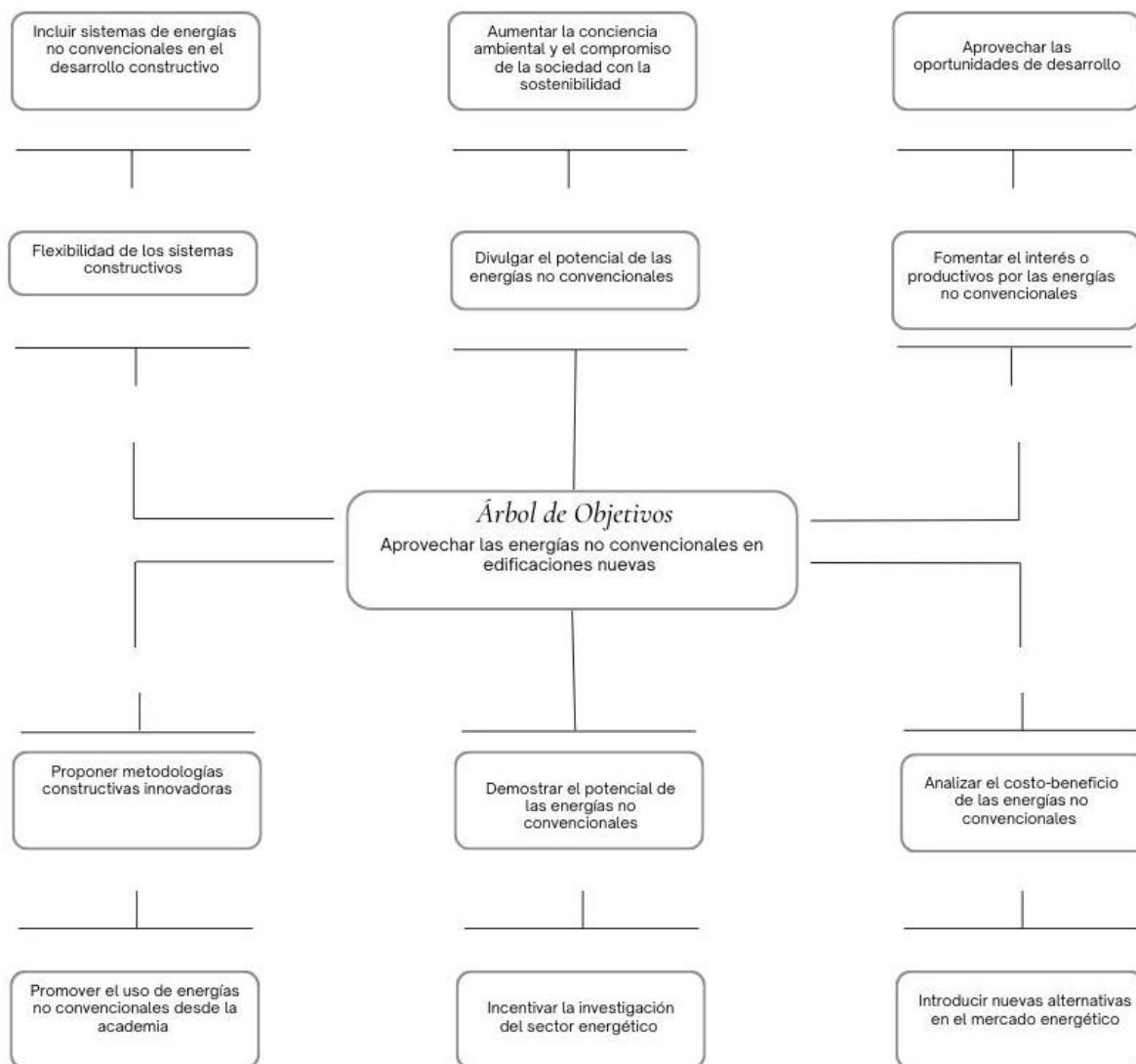
Causa 3 Altos Costos de Implementación de Energías No Convencionales

Los sistemas de energías no convencionales, como las baldosas piezoeléctricas, tienen un costo inicial elevado debido al precio de los materiales avanzados y la tecnología requerida. Esta barrera económica, combinada con un mercado limitado y la falta de economías de escala, desalienta su adopción. Además, muchos proyectos carecen de acceso a mecanismos financieros y subsidios específicos que reduzcan estos costos para el consumidor final.

Árbol de objetivos medios y fines, definición.

En la siguiente ilustración se plasma de forma ordenada cómo se descomponen y relacionan las metas del proyecto, en la parte central se encuentra el objetivo principal, que posteriormente es segmentado en una serie de subobjetivos que profundizan en los pasos que se desarrollan para cumplir con las metas de la presente investigación.

Ilustración 22 Árbol de objetivos



Fuente: Elaboración propia, 2024

Delimitación temática y geográfica

El proyecto se enfoca en el desarrollo, evaluación y análisis de sistemas de generación de energía basados en pisos con propiedades piezoeléctricas para edificaciones nuevas (con enfoque en edificaciones comerciales), se abordan aspectos técnicos como la selección de materiales

adecuados, la eficiencia en la generación de energía, y la durabilidad del sistema, así como el análisis económico y de sostenibilidad asociado con su implementación. Además, se considera el contexto científico mediante la revisión de literatura relevante para fundamentar la viabilidad de la tecnología en el sector de la construcción.

Delimitación geográfica:

El proyecto se desarrollará en la ciudad de Bogotá, Colombia, enfocándose específicamente en espacios de edificaciones comerciales, como centros comerciales, oficinas y edificios de uso mixto; Bogotá ofrece un contexto ideal debido a su alta densidad poblacional, constante actividad peatonal en estos espacios y el creciente interés en soluciones sostenibles en la construcción.

La implementación de pisos con propiedades piezoeléctricas en estos entornos permitirá evaluar el potencial de generación de energía en áreas con alta afluencia de personas, adaptándose a las condiciones climáticas, normativas locales y necesidades específicas del sector comercial en la ciudad.

Descripción

Concepto general del producto o servicio

El producto propuesto consiste en un sistema modular de baldosas piezoeléctricas diseñado para la generación de energía eléctrica a partir del tránsito peatonal, estas baldosas integran materiales piezoeléctricos avanzados capaces de convertir la energía mecánica generada por el peso y movimiento de las personas en energía eléctrica utilizable, el sistema está diseñado para ser instalado en áreas de alta afluencia, como pasillos, entradas de edificios, plazas o espacios públicos

y se complementa con un conjunto de componentes electrónicos que optimizan la captación, almacenamiento y distribución de la energía generada.

Cada baldosa está compuesta por buzzers protegidos por una estructura resistente y adaptable que asegura su durabilidad y funcionalidad bajo diferentes condiciones de uso, la electricidad generada se almacena en bancos de baterías o se integra directamente a sistemas eléctricos preexistentes mediante inversores que convierten la corriente continua en corriente alterna; esto permite alimentar aplicaciones de bajo consumo, como iluminación LED, sistemas de señalización o dispositivos electrónicos, contribuyendo a la sostenibilidad energética del entorno.

El producto destaca por su diseño innovador, que no solo maximiza la eficiencia en la generación de energía, sino que también mantiene un atractivo estético y funcionalidad práctica, su modularidad permite una fácil instalación, mantenimiento y ampliación según las necesidades del usuario, haciéndolo adaptable tanto para proyectos pequeños como para implementaciones a gran escala en ciudades inteligentes y edificaciones modernas.

Impacto tecnológico, social y ambiental

Las baldosas piezoeléctricas representan un avance significativo en el camino hacia la transición de las energías de origen fósil hacia las energías renovables, es una solución arquitectónica que a su vez permite que el aprovechamiento de propiedades que no se habían tomado en cuenta en la construcción de edificaciones, del mismo modo.

Las baldosas piezoeléctricas representan un avance significativo en la generación de energías renovables, impulsando la transición hacia ciudades más inteligentes y sostenibles. Al

transformar la energía mecánica del movimiento en electricidad, estas baldosas contribuyen a la creación de infraestructuras urbanas más eficientes y autosuficientes. Además, incentivan la investigación y desarrollo de nuevos materiales piezoeléctricos, mejorando su rendimiento y durabilidad. La energía generada por estas baldosas puede alimentar dispositivos electrónicos de bajo consumo, fomentando la miniaturización y portabilidad, y abriendo un amplio abanico de aplicaciones en el ámbito de la electrónica portátil y la domótica. En resumen, las baldosas piezoeléctricas son una tecnología prometedora que contribuye a un futuro más limpio y eficiente, al tiempo que impulsa la innovación en diversos sectores.

Potencial innovador

El proyecto presenta un alto potencial innovador al proponer una solución sostenible y eficiente para la generación de energía alternativa al combinar tecnología piezoeléctrica y un diseño funcional para transformar la energía mecánica generada por el tránsito peatonal en electricidad utilizable, lo que representa una nueva manera de aprovechar recursos que tradicionalmente se desperdician; concepto que se posiciona como una respuesta integral a la creciente necesidad de fuentes de energía renovables y sostenibles, especialmente en entornos urbanos con alta densidad de población.

Uno de los aspectos más innovadores radica en la posibilidad de integrar estas baldosas en edificaciones modernas, espacios públicos y áreas de alta afluencia de personas, como centros comerciales, estaciones de transporte y parques, la capacidad de convertir el movimiento cotidiano en una fuente de energía eléctrica abre un nuevo horizonte para las ciudades inteligentes, donde la tecnología no solo se adapta al entorno, sino que también contribuye activamente a su sostenibilidad.

Además, el uso de materiales piezoeléctricos en este contexto destaca por su eficiencia y adaptabilidad, lo que permite diseñar sistemas personalizados según las necesidades energéticas y arquitectónicas de cada instalación.

El proyecto también innova al combinar la generación de energía piezoeléctrica con la posibilidad de almacenarla y distribuirla mediante sistemas avanzados, como bancos de baterías e inversores, abriendo posibilidades con alternativas híbridas asegurando una integración eficiente con otras fuentes renovables, como la solar o eólica y ofrece una solución energética más confiable; de este modo las baldosas piezoeléctricas no solo generan energía, sino que contribuyen a la diversificación de las fuentes energéticas, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles.

Por último, el diseño y desarrollo de un prototipo funcional refuerza el carácter innovador del proyecto, al aplicar buzzers como elementos piezoeléctricos en combinación con configuraciones eléctricas optimizadas demuestra un enfoque práctico y accesible para la implementación de esta tecnología, priorizando pruebas experimentales y ajustes basados en datos reales, el proyecto se posiciona como un modelo viable para aplicaciones a gran escala.

El proyecto no solo contribuye al avance del conocimiento en el campo de la piezoelectricidad, sino que también ofrece una solución práctica para los desafíos energéticos contemporáneos, destacándose como un ejemplo claro de innovación tecnológica al servicio de la sostenibilidad y la eficiencia constructiva.

Justificación del problema a investigar

Justificación Ambiental

La creciente demanda energética global, sumada a la urgente necesidad de mitigar los efectos del cambio climático, ha impulsado la búsqueda de fuentes de energía renovable y sostenible, ejemplo de ello es Colombia, conocida por su riqueza en fuentes hidrológicas; depende en gran medida de la energía hidroeléctrica para satisfacer gran parte de su demanda energética nacional.

Actualmente, aproximadamente el 70% de la energía en el país proviene de las centrales hidroeléctricas. Sin embargo, la implementación de proyectos de represas para generar más electricidad, aunque necesarios para cubrir la demanda, traen consigo importantes repercusiones ambientales, ya que para su construcción suele inundar ecosistemas, desplazar flora, fauna y afectar a las comunidades que habitan en estas áreas. Un ejemplo destacado de esta problemática es la controversial presa de Hidro Ituango, que ha generado un intenso debate sobre los impactos negativos que ha generado en las comunidades cercanas y en el medio ambiente.

La construcción de la represa en el río Cauca no solo ha puesto en riesgo a las poblaciones locales debido a deslizamientos y el desplazamiento forzoso de miles de personas, sino que también ha alterado los ecosistemas acuáticos y terrestres de la región; el impacto en la fauna y flora es una de las consecuencias más graves de los proyectos hidroeléctricos, debido a que la inundación de grandes áreas de tierra destruye hábitats naturales cruciales para miles de especies.

La vegetación autóctona muere, se eliminan bosques y ecosistemas ribereños, afectando tanto a la fauna como a la flora que dependen de ellos, en el caso de Hidro Ituango, como en otros

proyectos hidroeléctricos, las especies locales, especialmente aquellas adaptadas a hábitats específicos, se ven desplazadas, debido a la pérdida de su entorno natural; tales como peces migratorios, como las que habitan el río Cauca, enfrentan serias dificultades para completar sus ciclos de vida al ser bloqueados en sus rutas naturales por las represas, mientras que otras especies animales también sufren por la alteración de sus territorios de caza y refugio.

Otro ejemplo claro de las repercusiones que traen las represas es que el cambio en los ecosistemas no se limita a la fauna y flora locales, sino que también afecta a la calidad de los suelos y el clima regional. La alteración del microclima y la modificación de las temperaturas de los cuerpos de agua pueden alterar los ciclos naturales de las especies y modificar patrones de lluvia y humedad, lo que afecta la salud de los ecosistemas en general; prueba de ello es la represa de Kariba en África, la desaparición de los suelos fértiles que antes eran nutridos por los sedimentos del río Zambezi ha afectado la agricultura local y la biodiversidad en las zonas circundantes.

En este contexto, la presente investigación propone el desarrollo de pisos con propiedades piezoeléctricas, un sistema capaz de transformar la energía mecánica del tránsito peatonal en energía eléctrica, ofreciendo el potencial para contribuir a la transición hacia un futuro energético más limpio y eficiente, al tiempo que se brindan soluciones a problemáticas ambientales y alineando la producción de energía con las necesidades cambiantes del entorno.

Los pisos pueden alimentar sistemas de iluminación pública, señalización, estaciones de carga para dispositivos móviles y otros equipos electrónicos de bajo consumo, reduciendo la dependencia de fuentes de energía fósil e hidroeléctrica.

También las baldosas piezoeléctricas pueden formar parte de una infraestructura urbana inteligente, capaz de adaptarse a las necesidades cambiantes de los ciudadanos y optimizar el uso de los espacios públicos.

Así, se benefician las ciudades al reducir los costos de energía y mejorar la calidad de vida de sus habitantes, además de contribuir al desarrollo sostenible de las ciudades, las empresas del sector energético y de la construcción pueden encontrar nuevas oportunidades de negocio en el desarrollo y comercialización de esta tecnología. La gente se beneficia de una mayor eficiencia energética, una reducción de la contaminación y una mejora en la calidad de vida.

De esta manera se aborda uno de los desafíos más importantes de nuestro tiempo, la transición hacia un modelo energético sostenible al aprovechar una fuente de energía renovable y abundante como la energía mecánica del tránsito peatonal, abriendo una oportunidad para diversificar las fuentes de energía, reducir el impacto ambiental y adaptarse a los desafíos del cambio climático. Este proyecto no solo busca innovar en la generación de energía, sino también contribuir a la sostenibilidad y conservación de los recursos naturales del país.

Justificación Social

La innovación en el campo de las soluciones sostenibles y tecnológicamente avanzadas ha permitido que iniciativas como las baldosas piezoeléctricas tomen reconocimiento ya que proporcionan funcionalidad y contribuyen al bienestar social, en ese sentido la implementación de estos proyectos puede transformar la forma en que interactuamos con el entorno ya que reducimos la huella de carbono, se fomenta el uso de energías no convencionales y disminuye la dependencia

de combustibles fósiles. Dadas estas condiciones, el desarrollo de este proyecto es la oportunidad de promover la energía comunitaria, es decir, unir a la comunidad en un eje que ayude a la divulgación de las energías renovables, realizar procesos de apropiación del entorno donde se pongan en práctica no solo iniciativas como la baldosa, sino también otros tipos de energías que ayuden a devolver un poco de los recursos consumidos del planeta.

Dentro de la estrategia de apropiación del entorno, la integración de baldosas piezoeléctricas juega un papel fundamental ya que desde el diseño de los espacios públicos es posible incentivar el desarrollo de áreas verdes y recreativas, con ello proporciona lugares de esparcimiento para la comunidad que son alimentados energéticamente, creando un ciclo de sostenibilidad en el que la ciudad se nutre de la actividad de sus habitantes.

Por otro lado, el movimiento social generado a partir de la sostenibilidad y la introducción de baldosas piezoeléctricas también sirve como una herramienta educativa, es decir, que, al integrarlas en espacios educativos o comunidades, se pueden impulsar programas que involucren a los ciudadanos en el aprendizaje sobre energía renovable y sostenibilidad, esta realidad puede motivar a las personas a adoptar comportamientos más responsables y comprometidos con el medio ambiente.

Otro hecho que se desprende del desarrollo y la implementación de esta tecnología es la generación de nuevos empleos en sectores como la construcción, la ingeniería y la manufactura, que a su vez incentiva el desarrollo económico de los sectores y esto sumado al plan de desarrollo del gobierno en vigencia, en torno a la democratización de la energía; que procura por, “generar energía en el mismo lugar donde se consume”, esto contribuye a una distribución más equitativa

de la energía, especialmente en áreas remotas o con acceso limitado a la red eléctrica y mejorar la calidad de vida para el bienestar social.

Fomentar el bienestar implica promover la interacción social, es decir fortalecer los lazos comunitarios, esto se logra a partir del desarrollo del sentido de pertenencia que a su vez contribuye a un tejido social más fuerte, por ende, cuando las personas ven que sus acciones cotidianas, como caminar, tienen un impacto positivo al generar energía, se fomenta una mayor conciencia y responsabilidad colectiva, esto involucrar a todos los miembros de la comunidad en un esfuerzo común por un futuro más sustentable. Las personas entienden finalmente que la innovación sustentable no solo es un avance tecnológico, sino que también es la forma en que las comunidades pueden crear nuevos modelos de negocio, emprendimientos sociales, generación de empleo local o establecer relaciones publico privadas para la creación de espacios públicos más eficientes y amigables con el medio ambiente.

En conclusión, la propuesta de integrar baldosas piezoeléctricas en el diseño urbano no solo responde a una necesidad energética, sino que busca transformar la relación entre los ciudadanos y su entorno, reducir la contaminación, mejorar la calidad de vida, promocionar la innovación social y la participación ciudadana, las baldosas piezoeléctricas ofrecen un enfoque integral que puede potenciar el bienestar social, esta innovación no solo busca abastecer necesidades energéticas, sino que promueve la creación de comunidades más cohesionadas y resilientes, abordar cuestiones ambientales, energéticas y sociales en una misma línea de trabajo representa un avance importante en el camino de ciudades más sostenibles, seguras e inclusivas.

Justificación económica

El Ministerio de Minas y Energía de Colombia en 2023 presentó ante el comité de los Fondos de Inversión Climática (CIF) su plan de inversión de 70 millones de dólares otorgados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para acelerar la Transición Energética Justa en el país. Este plan, liderado por la ministra Irene Vélez Torres, busca descarbonizar la economía colombiana mediante la integración de energías renovables, involucrando activamente a las comunidades locales en la construcción de proyectos energéticos y fomentando una nueva reindustrialización enfocada en tecnologías limpias como el hidrógeno verde. También se pretende mejorar la electrificación rural y la participación comunitaria en la generación y uso de energías renovables, beneficiando a más de 19.560 hogares (Ministerio de minas y energía , 2023), dadas estas condiciones se hace apertura para todo un mercado de posibilidades en materia energética, es decir que aquellos que realicen emprendimientos en esta línea, recibirán el respaldo de una sociedad que está buscando alternativas para sus necesidades energéticas.

Sumado a lo anterior en el país se ofrecen varios incentivos para el desarrollo de energías renovables, incluyendo la deducción del 50% del impuesto de renta por 15 años para inversiones en fuentes alternativas, exclusión de aranceles e IVA para la importación de equipos y adquisición de paneles solares. Estos incentivos abarcan la exención de derechos arancelarios para maquinarias y equipos destinados a nuevas inversiones en proyectos, la exclusión del IVA para equipos y servicios relacionados con la generación de energía renovable, y la posibilidad de depreciación acelerada de bienes necesarios para la inversión y operación de proyectos de generación de energía limpia (PROCOLOMBIA, 2023)

Dada esta proyección económica, el uso de baldosas piezoeléctricas, que generan energía mediante la presión mecánica (como el paso de personas), representa un avance tecnológico en la generación de energías renovables, es la una iniciativa que fomenta la investigación y el desarrollo en este campo, que tiene potencial para atraer inversiones en tecnología verde, crear nuevas industrias, ya que involucra diversos sectores como la electrónica, la ingeniería de materiales para los diferentes acabados, el diseño industrial, nuevos servicios como instalación y mantenimiento y la comercialización de componentes como los sensores piezoeléctricos, los materiales reciclados, sistemas de control, etc, si se mira como una propuesta holística, es posible aprovechar los beneficios económicos en muchos sectores productivos, del mismo modo, con miras al futuro, una vez que las empresas locales perfeccionen la tecnología de las baldosas piezoeléctricas, se abrirá un nuevo mercado y es la comercialización, tanto a nivel nacional como internacional, gracias a la creciente demanda de soluciones sostenibles, estos productos basados en piezoelectricidad diversifican la oferta de exportación aumentando los ingresos,

Por otro lado, el uso de las baldosas piezoeléctricas pueden reducir los costos energéticos a largo plazo, ya que usa un recurso común y cotidiano: el movimiento de las personas en áreas públicas, esto quiere decir que además del ahorro en facturas de energía, se reduce la dependencia de combustibles fósiles que trae consigo la mitigación del cambio climático que se traduce en menores emisiones de gases de efecto invernadero, y en reducir la exposición a las fluctuaciones del precio del petróleo, que es un factor de inestabilidad económica de cualquier país dependiente de este recurso.

Por último, un factor de distinción económica de un país es la capacidad de innovar con productos y servicios. La implementación de baldosas piezoeléctricas fomenta un entorno

favorable para la innovación tecnológica, las empresas tecnológicas locales se verían incentivadas a colaborar en el desarrollo de mejoras tecnológicas, como el incremento en la eficiencia energética de las baldosas, la reducción de los costos de producción y la adaptación de la tecnología a diferentes entornos urbanos e industriales, estos avances pueden llevar a la creación de mercados diversificados y estables, que no solo generarían ingresos adicionales sino que ayudarían al posicionamiento comercial de una economía en evolución.

Justificación Profesional

Mientras las ciudades crecen y la demanda de energía aumenta, la capacidad de convertir la energía mecánica generada por el tráfico de las personas y el uso diario en energía eléctrica representa un avance significativo en el campo de las energías renovables; la implementación de materiales piezoeléctricos en pisos ofrece una forma innovadora de aprovechar recursos que de otro modo serían desperdiciados, integrando la generación de energía en el diseño de edificaciones inteligentes.

Lo cual benéfica a diversos actores, incluyendo desarrolladores y constructores, quienes pueden usar esta solución en nuevos proyectos, añadiendo valor en términos de sostenibilidad y eficiencia energética, además, también beneficiando a propietarios y usuarios de edificios al contribuir a la reducción de costos energéticos y mejorar la sostenibilidad ambiental. Asimismo, la tecnología apoya los esfuerzos de políticas públicas orientadas a la transición hacia fuentes de energía renovables y la reducción de la huella de carbono en el sector construcción.

La sostenibilidad es uno de los puntos a destacar, dado a que contribuye a la generación de energía renovable mejorando la eficiencia energética, esto al producir energía que puede reducir la demanda externa para aplicaciones específicas dentro de la edificación; de esta forma impulsando la innovación tecnológica, promoviendo el desarrollo de nuevos materiales y sus aplicaciones en el sector de la construcción y la generación de energía. Además, fomenta un enfoque de economía circular, en el que los productos y materiales tienen una vida útil prolongada y se reutilizan de manera eficiente.

Cabe mencionar que la investigación sobre la aplicación de tecnologías piezoeléctricas en la construcción a nivel nacional es prematuro y se encuentra en una etapa de desarrollo, este proyecto aborda un hueco significativo en el conocimiento al investigar la viabilidad y rendimiento de los pisos piezoeléctricos específicamente en el contexto de edificaciones nuevas, además aporta conocimiento al proporcionar datos empíricos y resultados prácticos sobre la eficacia de esta tecnología en condiciones reales, permitiendo mejorar el diseño y la implementación futura.

La implementación de pisos con propiedades piezoeléctricas es crucial para avanzar en el campo de las tecnologías de generación de energía renovable integradas en edificaciones, ya que al contribuir a la base de conocimiento existente y proporcionar evidencia práctica sobre el rendimiento y la viabilidad económica, el proyecto facilita la adopción y la implementación de tecnologías piezoeléctricas a gran escala, apoyando así los objetivos globales de sostenibilidad y eficiencia energética.

Dado este escenario de factibilidad el presente proyecto de investigación busca superar las limitaciones identificadas en proyectos similares como es el caso de la investigación de “ENERGIEBODEM LTDA” (Sergio Torres, 2021) del programa Construcción y Gestión en Arquitectura de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca la cual establece el uso de un módulo de piso generadores de energía eléctrica, no obstante dentro de su análisis se identificaron deficiencias que limitan su rendimiento y viabilidad ; entre ellas se destacan:

El uso de elementos electrónicos comunes, como los buzzers, puede ser adecuado y funcional, sin embargo, para la implementación de una propuesta verdaderamente innovadora, es fundamental considerar alternativas que ofrezcan características distintivas y avanzadas, en este contexto, se propone el uso de materiales piezoeléctricos, específicamente cristales de Rochelle; que presentan propiedades únicas de deformación mecánica y generación eléctrica.

Estos materiales, aunque de origen rudimentario y experimental, podrían proporcionar una solución innovadora y diferenciada al cumplir con las condiciones específicas requeridas para la propuesta, ya que puede potenciar la originalidad y el impacto tecnológico del proyecto.

Otro aspecto crítico para discutir en el proyecto de pisos generadores es, la evaluación precisa de las cargas y los valores energéticos en función de la presión mecánica aplicada sobre el área del piso y la energía generada en relación con este proceso. Dado que el prototipo del proyecto no fue completado, no fue posible obtener datos precisos sobre estas variables y los valores generados, hasta el momento son promedios que no reflejan la realidad. En contraste, se propone el establecimiento de cuadros de carga basados en datos experimentales reales, los cuales

permitirán obtener una relación más exacta y fundamentada entre la presión ejercida y la energía producida, lo cual garantizará una evaluación más precisa y fiable del rendimiento del sistema.

Además, otro punto crucial a evaluar es la falta de consideración del impacto ambiental en el proyecto anterior. en este caso, no se estimó adecuadamente la cantidad de energía que se podía producir ni se analizó cómo esta se compararía en términos de costo-beneficio con respecto al consumo de energía tradicional.

En respuesta a esta omisión, el presente proyecto se enfoca en establecer una evaluación comparativa entre el consumo de energía convencional y las alternativas no convencionales, como la piezoeléctrica; el objetivo es cuantificar la cantidad de energía que se puede devolver al sistema y evaluar su contribución a la sostenibilidad, este análisis permitirá una valoración más precisa de los beneficios ambientales y económicos de la tecnología propuesta en comparación con los métodos de generación de energía tradicionales.

Es fundamental destacar que, a diferencia del proyecto anterior que sirve como antecedente, la propuesta se llevará a cabo utilizando valores reales que permitirán obtener resultados claros y precisos. Este enfoque garantizará un avance significativo en el desarrollo de sistemas de generación de energía piezoeléctrica para edificaciones, al adoptar un enfoque riguroso y basado en datos experimentales, nuestro proyecto no solo contribuirá a la innovación tecnológica en el ámbito de la energía piezoeléctrica, sino que también promoverá un futuro energético más limpio y sostenible.

Justificación Tecnológica

Uno de los objetivos fundamentales de esta investigación es explorar el potencial de la energía piezoeléctrica en el contexto de la arquitectura y el diseño de edificaciones sostenibles, las ciudades modernas generan una gran cantidad de energía mecánica a partir de las actividades cotidianas de sus habitantes. Caminamos, nos desplazamos en vehículos, utilizamos escaleras y ascensores, y todas estas acciones generan vibraciones y fuerzas que, en teoría, pueden ser convertidas en energía útil a través de materiales piezoeléctricos para aprovechar su uso.

En respuesta a este crecimiento, es esencial implementar nuevas fuentes de energía que no solo sean capaces de satisfacer la demanda, sino que también minimicen los impactos ambientales, las fuentes de energía no tradicionales, como los combustibles fósiles, han contribuido significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, acelerando el cambio climático. Como consecuencia, ha surgido una urgencia global por desarrollar tecnologías limpias que sean sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

En este contexto, esta fuente de energía no depende de factores externos, sino que puede generarse constantemente en el entorno urbano, lo que la convierte en una opción altamente prometedora para complementar otras energías renovables.

La piezoelectricidad es un fenómeno en el cual ciertos materiales generan una carga eléctrica en respuesta a la presión mecánica que se les aplica

A diferencia de otras fuentes de energía renovable, la energía piezoeléctrica no depende de factores climáticos como la irradiación solar o el viento, lo cual le permite generar electricidad de manera continua, siempre que haya movimiento o presión sobre los materiales piezoeléctricos,

además los materiales utilizados en la fabricación de dispositivos piezoeléctricos tienen un bajo impacto ambiental en comparación con las tecnologías de generación energética tradicionales.

Los sistemas piezoeléctricos pueden integrarse en una amplia variedad de superficies y materiales, como suelos, techos, paredes y carreteras. Esto los convierte en una opción ideal para su uso en edificaciones urbanas, donde se genera una gran cantidad de energía mecánica.

Finalmente, al evaluar la eficiencia de conversión de energía de las baldosas piezoeléctricas, se aplicarán diferentes niveles de presión mecánica sobre las baldosas y se medirá el voltaje generado en respuesta a esta presión. Además, se evaluará la durabilidad del sistema bajo condiciones de uso prolongado para asegurarse de que los pisos sean de alta efectividad.

Necesidades que satisface

La investigación propuesta satisface diversas necesidades fundamentales en distintos ámbitos, destacándose su impacto ambiental, tecnológico, cultural y en el sector de la construcción.

Desde una perspectiva ambiental, el proyecto responde a la urgencia de mitigar los efectos del cambio climático al ofrecer una alternativa sostenible para la generación de energía, implementando la tecnología piezoeléctrica para transformar el movimiento humano en electricidad, reduciendo la dependencia de fuentes de energía convencionales basadas en combustibles fósiles, disminuyendo así las emisiones de gases de efecto invernadero.

Asimismo, el uso de materiales como los cristales de Rochelle minimiza el impacto ambiental asociado a la extracción de recursos y fabricación de componentes más complejos, promoviendo un enfoque sostenible en todo el ciclo de vida del sistema.

En el ámbito tecnológico, la investigación se posiciona como un aporte innovador al emplear materiales con propiedades distintivas, capaces de ofrecer un enfoque novedoso que incrementa la eficiencia y versatilidad de la tecnología piezoeléctrica, abriendo nuevas posibilidades para su implementación en edificaciones inteligentes.

A nivel cultural, el proyecto fomenta una mayor conciencia sobre el impacto del comportamiento humano en la sostenibilidad energética, ya que impulsa un cambio en la percepción de los usuarios sobre el uso responsable de los recursos; lo cual no solo sensibiliza a las comunidades sobre la importancia de adoptar prácticas más sostenibles, sino que también contribuye a la formación de una cultura ambientalmente consciente, alineada con los objetivos globales de desarrollo sostenible.

Finalmente, en el sector de la construcción, esta propuesta representa un avance significativo hacia edificaciones más sostenibles y funcionales; esto gracias a que los pisos generadores de energía no solo optimizan el aprovechamiento de los espacios, sino que también introduce un valor añadido a los proyectos arquitectónicos, mejorando su competitividad en el mercado.

Además, la tecnología piezoeléctrica puede integrarse de manera armoniosa en el diseño de edificios inteligentes, promoviendo un enfoque holístico que combine eficiencia energética, funcionalidad y estética.

Finalmente cabe mencionar que el proyecto no solo aborda las necesidades urgentes de sostenibilidad en el ámbito ambiental y energético, sino que también impulsa la innovación

tecnológica, fomenta un cambio cultural hacia prácticas más responsables y contribuye a transformar el sector de la construcción.

Metodología de la investigación

La implementación de una baldosa piezoeléctrica como alternativa para la generación de energía eléctrica se desarrolla siguiendo una estructura que permite ir desde lo general a lo particular, es decir que, la investigación implica una revisión exhaustiva de estudios previos sobre materiales, diseños, aplicaciones y estudios de caso con el fin de conocer todo el panorama en torno a la piezoelectricidad, en segundo lugar se definen objetivos claros, con los cuales se pretende trazar un camino hacia la implementación del producto de la investigación, el siguiente paso está determinado por el diseño y construcción de un prototipo que se somete a diversas pruebas para evaluar su eficiencia y durabilidad, los datos obtenidos se analizan y se realizan los ajustes técnicos para optimizar el diseño. Finalmente, se evalúan los aspectos económicos y ambientales de la tecnología, en síntesis, la metodología del proyecto de investigación pasa por tres etapas principales, investigación teórica, experimentación práctica y la evaluación de la viabilidad, el siguiente cuadro desglosa el proceso basado en los aspectos anteriormente expuestos.

Alcance

Este proyecto tiene como objetivo el análisis e implementación de baldosas con propiedades piezoeléctricas como alternativa sostenible para la generación de energía eléctrica en edificaciones nuevas, el alcance abarca desde la revisión teórica y conceptual de la tecnología piezoeléctrica, pasando por el diseño y construcción de un prototipo funcional, hasta la evaluación de su viabilidad técnica, económica y ambiental.

Se busca determinar la eficiencia energética, la durabilidad del sistema y los costos asociados a su implementación, así como analizar su impacto ambiental en comparación con fuentes de energía convencionales; finalmente, el proyecto proporcionará un modelo escalable y adaptable para futuras aplicaciones en espacios de alta circulación, como edificios residenciales, comerciales y urbanos.

Ilustración 23 proceso de la investigación

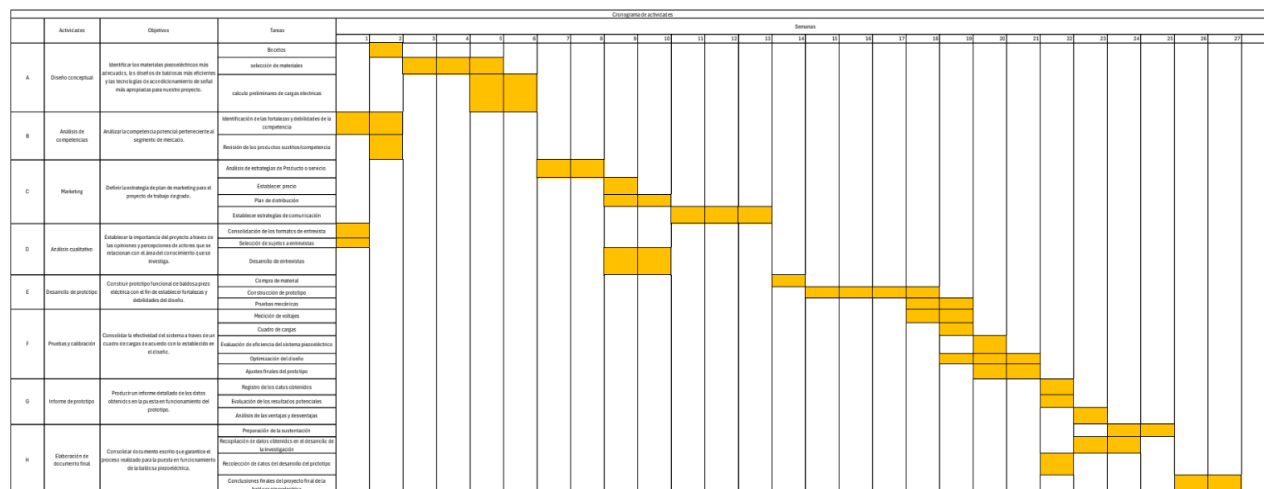


Fuente: Elaboración propia, 2024

Cronograma de la investigación

El cronograma de investigación contempla una serie de fases dentro de las cuales se desempeñan las tareas que abarcan desde el diseño inicial hasta la presentación final de resultados, ordenando estas estratégicamente para asegurar un desarrollo técnico y sustentado del proyecto.

Ilustración 24 cronograma



Fuente: Elaboración propia

Antecedentes del problema a investigar

El uso de baldosas piezoeléctricas para la generación de energía eléctrica ha surgido como una solución innovadora en la búsqueda de sistemas sostenibles de generación energética, no obstante, esta tecnología presenta desafíos técnicos, económicos y de integración con otros sistemas energéticos; a partir de investigaciones previas, es posible identificar elementos clave que justifican y guían el desarrollo de sistemas similares al propuesto en la presente investigación.

Para lo cual se pudo identificar una serie de proyectos relacionados a las funciones piezoeléctricas de pisos modulares, cabe mencionar que se escogieron investigación especialmente con concentración en poblaciones latinoamericanas.

La investigación: Implementación de un prototipo funcional generador de energía eléctrica a través de una baldosa con elementos piezoeléctricos "Para el diseño inicial del prototipo se propuso usar cuatro piezoeléctricos, instalándolos en tres diferentes configuraciones [...] lo que

indica dos sensores piezoeléctricos en serie y dos en paralelo. [...] se concluyó que la configuración que más genera electricidad es la conexión en paralelo, con la resistencia de 33 K Ω ." (Barahona, 2021)

Esta observación es fundamental al demostrar que la eficiencia en la generación de energía piezoeléctrica depende de la configuración de los sensores y la resistencia utilizada, conocimiento técnico esencial para diseñar sistemas híbridos que maximicen la generación de energía en condiciones reales de uso.

Por otro lado, en el proyecto: Análisis de conveniencia de la implementación de la energía piezoeléctrica en las salas de Cine Colombia "es evidente que la energía producida por el sistema difícilmente podría abastecer la demanda energética del teatro, es por ello que se recurre a plantear un sistema híbrido." (Juliana Contreras, 2016)

Este hallazgo subraya la limitación de los sistemas piezoeléctricos para satisfacer demandas energéticas elevadas de forma independiente, lo que justifica la combinación con tecnologías de circuitos que logren sobre abastecer dicha necesidad eléctrica, para obtener un mayor potencial de generación y estabilidad eléctrica.

El análisis técnico de los materiales también es relevante dentro de: Proyecto de diseño de un sistema de baldosas piezoeléctricas en un gran centro comercial "El comportamiento de los materiales piezoeléctricos se parecen al comportamiento de un circuito RLC implica que el factor de calidad debe ser muy alto (valores típicos de entre 1 y 10)." (Punzano, 2022)

Este punto proporciona una base técnica para comprender cómo los materiales piezoeléctricos responden ante variaciones de voltaje y carga, información crucial para diseñar sistemas que integren eficientemente a las baldosas y los circuitos adyacentes.

En términos de durabilidad y resistencia estructural, la investigación: Factibilidad de central eléctrica en base a baldosas piezoeléctricas para iluminación de una plaza de armas "Para ubicar la baldosa en el centro de la estructura se ideó una pieza que llamamos "pestaña de sujeción" esta solamente ubicará a la baldosa en el centro de la estructura y también será corredera por el riel ubicado en la platina de nivel. La estructura se cubrirá con una plancha de 2 mm, estructura cubierta con plancha de 2 mm de espesor; las medidas se propusieron y se aumentaron considerando el análisis por el software SolidWork considerando en primera instancia el peso máximo encontrado en la muestra de 50 personas es decir de 900 N. En el centro, la abertura de la baldosa no será totalmente tapada por la baldosa por lo que para cada baldosa a probar se deberá hacer un accesorio considerando el espacio que queda entre la baldosa y la plancha que la cubre. Se realizó otro análisis para determinar la fuerza máxima que podrán soportar los elementos considerando que el Factor de Seguridad (FDS) mínimo se logró un FDS de 4.7." (Nuñez., 2022)

Este análisis brinda un prospecto de prototipo que garantiza que las baldosas piezoeléctricas puedan soportar las condiciones de uso intensivo en entornos urbanos, como edificios o espacios de alto tránsito, teniendo en cuenta que la durabilidad es esencial para asegurar la viabilidad técnica y económica del sistema en el largo plazo.

Además, se observa un enfoque práctico en la integración de las baldosas piezoeléctricas con sistemas de almacenamiento energético: Vigilancia tecnológica para determinar la factibilidad

técnica, económica y ambiental de implementar plataformas peatonales para la generación de energía eléctrica mediante sistemas piezoeléctricos "La energía generada por las baldosas piezoeléctricas es almacenada en baterías para posteriormente alimentar el juego de luces LED , transformando energía cinética en energía eléctrica a un promedio de 3-5 Julios por paso." (Coronel, 2020)

Este ejemplo demuestra cómo la energía generada puede ser aprovechada para aplicaciones específicas, como iluminación LED, y pone de manifiesto la necesidad de un sistema de almacenamiento eficiente para maximizar el uso de la energía generada, además dentro del texto se ilustra de forma gráfica un boceto del circuito en cuestión.

Finalmente, un componente clave en la integración es el almacenamiento y distribución de la energía. Según: Diseño de investigación para la evaluación del impacto del uso de baldosas piezoeléctricas para el aumento de generación de energía eléctrica en edificios auto productores con tecnología fotovoltaica "El banco de baterías necesita un dispositivo electrónico cuya función es equilibrar la carga de las baterías de una manera eficiente, lo cual garantiza una mayor vida útil y estabilidad del sistema." (Rojas, 2023)

Este punto resalta la importancia de los reguladores de carga y los inversores, que no solo protegen los componentes del sistema, sino que también optimizan el rendimiento energético al convertir la energía almacenada en una forma utilizable para los usuarios.

Estado del Arte del Problema a investigar

El estado del arte del presente proyecto se fundamenta en una revisión exhaustiva de investigaciones y trabajos relacionados con la piezoelectricidad y su aplicación en la generación

de energía, a través de la siguiente tabla, se analizaron diversas fuentes académicas, incluyendo artículos científicos, tesis y proyectos piloto internacionales. Estas referencias destacan el desarrollo de materiales piezoeléctricos como cerámicas (PZT), polímeros (PVDF) y compuestos híbridos, sus eficiencias energéticas y sus aplicaciones en contextos reales, como estaciones de tren y espacios comerciales.

Los estudios revisados aportan información clave sobre la selección de materiales, metodologías de implementación y análisis de viabilidad económica, proporcionando una base sólida para adaptar estas tecnologías a las necesidades locales de Bogotá, este análisis evidencia tanto los avances alcanzados como los desafíos técnicos que se deben superar, marcando una hoja de ruta para la investigación en curso.

Tabla 7 Investigaciones de referencia

	Bibliografía	Resumen	cita textual	Link
1	Alvarez Rueda, A., Schäffner, P., Petritz, A., Groten, J., Tschopp, A., Petersen, F., Zirk, M., & Stadlober, B. (2023). Estudio de la distribución de la presión en baldosas de suelo con sensores impresos de P(VDF-TrFE) para aplicaciones de superficies inteligentes. <i>Sensors</i> (14248220) , 23 (2), 603. https://doi-org.ezproxy.unicolmayor.edu.co/10.3390/s23020603	El documento presenta un concepto de suelo inteligente basado en baldosas equipadas con una matriz de sensores piezoeléctricos impresos, que permite la detección de movimiento y eventos sin problemas de privacidad asociados a la videovigilancia. Se desarrolló un modelo de simulación para estudiar la propagación de la presión en el suelo, logrando un margen de error del 1,5 %, lo que es útil para optimizar la disposición de los píxeles. Además, se demostró la viabilidad de la baldosa con una conexión inalámbrica, mostrando su capacidad para detectar toques y movimientos.	"El coeficiente piezoeléctrico aparente, d_{31} , se midió para cada píxel antes de pegar la lámina del sensor a la baldosa del suelo. Para ello, un sello neumático aplicó hasta 90 N sobre el píxel del sensor siguiendo un pulso triangular a 0,5 Hz. El transductor se situó sobre un sensor de fuerza. Para garantizar que la fuerza se aplicaba de forma homogénea sobre el píxel, se colocó una lámina de PET rectangular de 1 x 1 cm 2 entre el píxel del sensor y el sello. Tanto la salida del sensor de fuerza como la salida del píxel del transductor se midieron simultáneamente con una tarjeta PXI de National Instruments. La señal de corriente del transductor se convirtió en una señal de tensión utilizando un amplificador de transimpedancia (TI) y se integró para obtener la carga piezoeléctrica. La agente da Luego se determinó el parámetro a partir de un ajuste lineal del gráfico de carga-fuerza. En la información complementaria (Figura S4) se muestra un ejemplo de una medición y una imagen de la configuración."	https://search-ebSCOhost-com.ezproxy.unicolmayor.edu.co/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=161560007&lang=es&site=ehost-live
2	Rahman, FR, Wirandi, M, Fiyal, M, Rahmayanti y Septiawan, MR (2023). Diseño y desarrollo de equipos de conversión de energía cinética de la pisada en energía eléctrica. <i>Actas de la conferencia AP</i> , 2630 (1), 1-9. https://doi-org.ezproxy.unicolmayor.edu.co/10.1063/5.0126266	El estudio aborda la recolección de energía a través de dispositivos piezoeléctricos, enfatizando la necesidad de fuentes alternativas a los combustibles fósiles. Se desarrolló un dispositivo a pequeña escala con 15 componentes piezoeléctricos organizados en un arreglo serie-paralelo.	"A través de un generador de energía de pasos. Existen diferentes tipos de generadores de energía de pasos. Disponible en el mercado y mayorLa seguridad de uso de estos dispositivos transductor piezoeléctrico para generar energía. Uno de los mayores desafíos en el diseño de la pisada. Los generadores con transductor piezoeléctrico son la elección de m ferroeléctrico adecuado material porque va. Venes eficiencia de conversión de energía cinética en electricidad [5]. Convencionalmente, La potencia del paso piezoeléctrico: El generador utiliza materiales ferroeléctricos compuestos de cristal, como el titanato de plomo (Pb(Zr,TiO3)), Zirconato de plomo (PbZrO3)."	https://search-ebSCOhost-com.ezproxy.unicolmayor.edu.co/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=16333262&lang=es&site=ehost-live
3	Selim, KK, Small, H, Yehia, HM, Ahmed, MMR y Saleeb, DA (2024). Sensores piezoeléctricos prestados por pisadas humanas para la recolección de energía. <i>Energies</i> (19961073) , 17 (10), 2297. https://doi-org.ezproxy.unicolmayor.edu.co/10.3390/en17102297	Este estudio explora el aprovechamiento de la energía cinética generada por las pisadas humanas a través de sensores piezoeléctricos instalados debajo de baldosas del piso. Se utilizó un circuito rectificador simple con un filtro para captar la energía eléctrica producida. Las baldosas tienen dimensiones de 455 mm de largo y 405 mm de ancho, y se logró encender dos diodos emisores de luz como carga utilizando la energía generada.	"Es posible generar mayor potencia conectando múltiples recolectores de energía piezoeléctricos. Sin embargo, el recolector de energía piezoeléctrico no se puede conectar directamente a cargas eléctricas porque el alto voltaje de salida cambia según cómo camina la gente y cuánta presión hay a lo largo del tiempo. Además, un simple rectificador de puente de onda completa es insuficiente debido a la forma de onda inestable que resulta de la etapa de rectificación. Como resultado, se necesitan un circuito de control adecuado para resolver estos problemas [17]. [26]. Este estudio examina la viabilidad de producir energía a partir de cristales piezoeléctricos y proporciona un plan detallado para los componentes mecánicos y eléctricos del sistema de recolección de energía propuesto. Además, incorpora validación experimental para evaluar los aspectos mecánicos. El manuscrito está organizado de la siguiente manera: la Sección 2 es el Diseño y Validación Experimental, la Sección 3 presenta los Resultados y Discusión, y la Sección 4 cubre la Conclusión de este estudio."	https://search-ebSCOhost-com.ezproxy.unicolmayor.edu.co/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=177489925&lang=es&site=ehost-live
4	Dongfang Yang, Aoxing Sun, Yuanyuan Pan, Kai Wang, Mechanical energy harvesting: Advances in piezoelectric nanogenerators. <i>International Journal of Electrochemical Science</i> , Volume 19, Issue 10, 2024, 100793, ISSN 1452-3961. https://doi.org/10.1016/j.ijecs.2024.100793	La energía mecánica, especialmente la derivada de vibraciones, se presenta como una de las formas más accesibles y abundantes de energía en el entorno. La densidad de energía disponible en vibraciones de frecuencias que varían desde ciertos de hercios hasta kHz oscila entre cientos de microvatios y milivatios por centímetro cúbico. La recolección de esta energía para cargar baterías y alimentar dispositivos electrónicos ha cobrado relevancia, destacando el potencial de los nanogeneradores piezoeléctricos (PENG). Estos dispositivos utilizan materiales piezoeléctricos a escala nanométrica para convertir energía mecánica en energía eléctrica, ofreciendo una alternativa más sostenible en comparación con las baterías químicas.	"El efecto piezoeléctrico es un efecto físico esencial que se refiere al fenómeno de separación de cargas en ciertos materiales cuando se aplica tensión mecánica o campo eléctrico, lo que da como resultado cambios en la estructura atómica o molecular interna del material. Se divide en efecto piezoeléctrico directo y efecto piezoeléctrico inverso."	https://www.sciencedirect-com.ezproxy.unicolmayor.edu.co/science/article/pii/S1452396124003341
5	Yujing Huang, Yanwei Sun, Jubing Xu, XiangZhan Hu, Yinshui Xia, Xiudeng Wang, Huakang Xia, Siguang An, Ge Shi, Piezoelectric-electromagnetic collaborative energy extraction circuit for wearable vibration energy harvester. <i>Microelectronics Journal</i> , Volume 152, 2024, 106376, ISSN 1879-2397. https://doi.org/10.1016/j.mejo.2024.106376	El artículo presenta un circuito de extracción de energía colaborativa piezoeléctrica-electromagnética (PEC-EC) diseñado para recolectar energía de vibraciones de baja frecuencia, como el balanceo del brazo, en dispositivos portátiles. Este circuito combina la recolección de energía de un transductor piezoeléctrico (PZT) y un generador de bobina electromagnética (ECG).	"La recolección de energía de vibración explorada en la investigación enfatiza principalmente los componentes del sensor y del transductor mecánico [6]. Actualmente, en el ámbito de los circuitos de interfaz para recolectar energía piezoeléctrica, las técnicas predominantes involucran enfoques de extracción no lineal. Los ejemplos incluyen la aplicación de la recolección de conmutación sincrónica en serie en inductores (S-SSH) [7, 8] la recolección de conmutación sincrónica en paralelo en inductores (P-SSH) y los circuitos de interfaz que emplean la extracción de carga eléctrica sincrónica (SECC) [9, 10]. En el caso de SECC, la potencia de salida no se ve afectada significativamente por la carga debido a sus ventajas estructurales."	https://www.sciencedirect-com.ezproxy.unicolmayor.edu.co/science/article/pii/S1879239724000808
6	Satyasadhan Dwarah, Parswajit Kalita, Sanjeev Kumar, Progress in mechanical energy harvesting via piezoelectric polymers and biomaterials. <i>Polymer</i> , Volume 312, 2024, 127640, ISSN 0032-3861. https://doi.org/10.1016/j.polymer.2024.127640	Esta investigación aborda el uso de materiales piezoeléctricos, incluidos los híbridos de bioproductos y PVDF, para convertir movimientos cotidianos, como caminar o respirar, en energía eléctrica. También se discuten aplicaciones en monitoreo de salud mediante la recolección de energía de movimientos involuntarios. Se analiza la biocompatibilidad de estos materiales para aplicaciones in vitro y vivo, y se exploran perspectivas futuras en el desarrollo de dispositivos electrónicos flexibles. La revisión destaca la importancia de estos nuevos materiales piezoeléctricos y su potencial en la investigación.	"Aunque la recolección de energía mecánica es un enfoque respetuoso con el medio ambiente para la generación de energía, existen algunos desafíos y limitaciones que se observan con frecuencia. Estos incluyen: La potencia de salida de la recolección de energía mecánica es bastante baja en magnitud (~ nW - mW) y es adecuada solo para aplicaciones de baja potencia.) La eficiencia de conversión de energía de la energía mecánica ambiental es baja debido a factores como la naturaleza del material, el diseño del dispositivo, las pérdidas de energía durante la conversión, etc. La variación en las vibraciones mecánicas del entorno no proporciona un suministro de energía constante. Para compensar la baja potencia de salida, se debilita el tamaño del recolector, lo que dificulta su integración en dispositivos portátiles y en miniatura. El desarrollo de recolectores de energía de un solo material que puedan recolectar efectivamente una gama más amplia de vibraciones ambientales también es otro problema. 6) Los materiales piezoeléctricos tradicionales como PZT (titanato de zirconato de plomo), ZnO (óxido de zinc), PMN-PT (niobato de plomo y manganeso-titanato de plomo), etc., se utilizan ampliamente en la fabricación de nanogeneradores debido a que pueden generar mayor potencia de salida."	https://www.sciencedirect-com.ezproxy.unicolmayor.edu.co/science/article/pii/S0032386124000766
7	Xiao Pan, Yuying Wu, Youfu Wang, Gang Zhou, Hongling Cai, Mechanical energy harvesting based on the piezoelectric materials: Recent advances and future perspectives. <i>Chemical Engineering Journal</i> , Volume 497, 2024, 154249, ISSN 1385-8947. https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.154249	Este artículo proporciona una visión integral de la recolección de energía mecánica con materiales piezoeléctricos híbridos (inorgánicos, orgánicos y orgánico-inorgánicos), se exploran los principios del efecto piezoeléctrico, se destacan materiales representativos y se discuten sus aplicaciones en áreas como sensores y diagnósticos médicos. Además, se analiza la importancia de la selección de electrodos y se propone el uso de aprendizaje automático para fomentar la innovación en el descubrimiento de nuevos materiales.	"En 1880, Pierre Curie y Jacques Curie descubrieron el fenómeno de acumulación de carga en ciertos materiales sólidos con estructuras no centrosimétricas bajo la influencia de estrés mecánico mientras estudiaban cristales. Acuñaron el término "efecto piezoeléctrico" [41] para describir este fenómeno, refiriéndose a los materiales que exhiben este efecto como materiales piezoeléctricos."	https://www.sciencedirect-com.ezproxy.unicolmayor.edu.co/science/article/pii/S1385894724057383

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 8 Investigaciones de referencia

	Bibliografía	Resumen	cita textual	Link
1	Amir Sharafi, Cheng Chen, Jian-Qiao Sun, Marie-Odile Fortier, Carbon footprint of piezoelectrics from multi-layer PZT stacks to piezoelectric energy harvesting systems in roads, Science, Volume 27, Issue 10, 2024, 110786, ISSN 2589-0042, https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.110786.	Dentro del artículo se investiga sobre el uso de dispositivos piezoeléctricos de recolección de energía (PEHD) en carreteras como generadores eléctricos con bajas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Para evaluar su huella de carbono, se realizaron análisis del ciclo de vida (LCA) de un PEHD, su generador y el material piezoeléctrico, basándose en datos de una instalación a escala piloto. Los resultados revelaron que las emisiones de GEI del material piezoeléctrico de titanato de zirconato de plomo (PZT) son más bajas de lo que se había reportado anteriormente, variando entre 10,81 y 15,90 kg de CO ₂ eq por kilogramo. La electricidad generada por un PEHD presenta emisiones de GEI que oscilan entre 48,65 y 588,63 g de CO ₂ eq por kWh, comparables a las de fuentes renovables y ligeramente superiores a la electricidad generada por gas natural.	"La generación de electricidad en las centrales eléctricas convencionales es una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) impulsadas por las actividades humanas. 1 Para reducir las emisiones de GEI y mejorar la seguridad energética, se debe desarrollar y adaptar una diversidad de fuentes de electricidad con menores emisiones para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades. 2, 3 Además de los sistemas de energía renovable que utilizan recursos naturales como la energía solar o eólica, en la transición energética se deben considerar los dispositivos de recolección de energía, que aprovechan la energía de fuentes no convencionales del medio ambiente, como la energía mecánica residual de las actividades humanas. Una de esas tecnologías implica materiales piezoeléctricos, que pueden generar electricidad al doblarse, torcerse, estirarse o comprimirse cuando se los somete a una tensión mecánica, una capacidad denominada efecto piezoeléctrico."	https://www.sciencedirect.com/epzproxy.unicolmayor.edu.co/science/article/pii/S258900422402011X
2	Yadav, N., Kumar, R. Análisis del rendimiento de excitaciones multipunto para elementos piezoeléctricos en la recolección de energía mejorada. J Mater Sci: Mater Electron 34 , 1534 (2023). https://doi.org/epzproxy.unicolmayor.edu.co/10.1007/s10854-023-10919-4	Este estudio investiga cómo mejorar la potencia de salida de los materiales piezoeléctricos mediante el uso de diferentes estructuras que aplican fuerza de manera distribuida. Se evaluaron cuatro tipos de estructuras: unipuntual, truncada, plana y multipuntual, utilizando simulaciones por el método de elementos finitos (FEM) y experimentación en laboratorio.	"Un ejemplo de ello es la producción de energía mediante el principio piezoeléctrico. Según el principio, algunos materiales dieléctricos producen energía eléctrica cuando su estructura se deforma por cualquier medio y viceversa [1 , 2] como se muestra en la Fig. 1a . Aquellos materiales dieléctricos que exhiben tales propiedades se conocen como materiales piezoeléctricos. El principio de generación eléctrica en cuarzo se muestra en la Fig. 1b . El sistema completo que utiliza la fuerza ambiental, la deformación o las vibraciones para producir potencial eléctrico se llama sistema de recolección de energía piezoeléctrica ."	https://link.springer.com/epzproxy.unicolmayor.edu.co/article/10.1007/s10854-023-10919-4#citeas
3	Panda, SS, Tripathy, HP, Satapathy, LM et al. Síntesis y caracterización de baldosas piezoeléctricas de ceniza volante reforzadas con óxido de zinc para la aplicación en sistemas de sanitización automatizados. J Mater Sci: Mater Electron 35 , 1014 (2024). https://doi.org/epzproxy.unicolmayor.edu.co/10.1007/s10854-024-12762-7	El estudio presenta la fabricación de baldosas piezoeléctricas avanzadas a partir de residuos de cenizas volantes de centrales térmicas y óxido de zinc (FA-ZnO), utilizando una ruta química, el material resultante muestra excelentes propiedades piezoeléctricas, con una constante piezoeléctrica (d33) de 3,3 pC/N y una constante dieléctrica de 338. La capacitancia y resistencia de las baldosas aumentan con la presión aplicada, y se ha observado que una pisada de 68 kg puede generar un voltaje de 6,8 V. Además, se explora un caso de uso donde estas baldosas alimentan un sistema de desinfección automatizado basado en IoT el sistema, diseñado para activarse al generar voltaje por la presión en las baldosas, ofrece un enfoque innovador para mantener la higiene en lugares de trabajo.	"Las centrales térmicas se ven acosadas por el grave problema de la eliminación de un residuo tan enorme que supone una grave amenaza para el medio ambiente en forma de contaminación de la tierra, el agua y el aire. Con una estricta regulación del gobierno central, las industrias a carbón se esfuerzan por utilizar las cenizas volantes de forma ecológica. En el período mencionado, la industria sólo pudo utilizar alrededor del 78% de las cenizas volantes producidas a través de la producción de ladrillos/bloques/tejas a base de cenizas volantes, en la fabricación de cemento Portland, como rellenos en la construcción de carreteras y puentes, rellenos de minas, etc. [2 , 3 , 4], dejando atrás la friolera de 61 M de cenizas volantes en los estancos de cenizas para su eliminación. Este problema no se limita solo a la India, sino a casi todos los países en desarrollo y subdesarrollados y necesita ser resuelto. Aquí proponemos un método novedoso para convertir las cenizas volantes producidas por las plantas de energía térmica a carbón en baldosas piezoeléctricas tecnológicamente avanzadas de valor agregado mediante la adición de ZnO."	https://link.springer.com/epzproxy.unicolmayor.edu.co/article/10.1007/s10854-024-12762-7
4	Selim, KK, Yehia, HM y Saleeb, DA Recolección de energía en baldosas de piso mediante parches piezoeléctricos para aplicaciones de bajo consumo. J. Vib. Eng. Technol. (2024). https://doi.org/epzproxy.unicolmayor.edu.co/10.1007/s42417-024-01379-z	Se propone el diseño de una serie de mosaicos de recolección de energía basados en pisadas que cubran áreas amplias para maximizar la energía recolectada podría considerarse como un trabajo futuro. Además, la variable del número de peatones también se puede estudiar para el diseño propuesto de este estudio en un entorno de excitación real, como una estación de tren, una estación de metro, una calle, una discoteca y un salón de fiestas de bodas.	"Los recolectores de energía piezoeléctrica han ganado atención debido a su alta densidad de energía, capacidad para convertir energía mecánica en energía eléctrica y compatibilidad con una amplia gama de aplicaciones. Estudios recientes muestran que la recolección de energía piezoeléctrica se puede desarrollar utilizando tecnología MEMS. Cuando se aplica tensión mecánica a un material, el efecto piezoeléctrico directo hace que se genere electricidad. La creación de una corriente eléctrica a partir de vibraciones desperdiciadas es la propiedad distintiva de los materiales piezoeléctricos. Por lo tanto, se podría proporcionar una fuente de energía limitada utilizando las características especiales del material piezoeléctrico [13 , 14]. En este sentido, [15 , 16 , 17 , 18 , 19 , 20] mostraron muchas soluciones basadas en piezoeléctrica para producir energía a partir de pasos humanos. En [15] se presentó una baldosa de piso de recolección de energía basada en voladizo piezoeléctrico de dos etapas . La frecuencia de resonancia del voladizo fue de 14,08 Hz."	https://link.springer.com/epzproxy.unicolmayor.edu.co/article/10.1007/s42417-024-01379-z
5	Warsi, MH, Nandha Kumar, T. Avances en técnicas de aprovechamiento de energía para autopistas inteligentes: una revisión. Electr Eng (2024). https://doi.org/epzproxy.unicolmayor.edu.co/10.1007/s00202-024-02379-8	Este artículo de revisión aborda el campo en expansión de la recolección de energía en carreteras, analizando tecnologías como la piezoeléctrica, termoeléctrica, piezoeléctrica, electromagnética y solar. Al resumir y comparar diversos estudios, se convierte en un recurso útil para investigadores, ingenieros y formuladores de políticas. Los artículos revisados incluyen tanto modelos teóricos como experimentos prácticos, demostrando la viabilidad de esta recolección energética.	"El imperativo de la transición hacia fuentes de energía sostenibles se sustenta en la necesidad apremiante de combatir el cambio climático y reducir las emisiones de carbono. A medida que los países se esfuerzan por cumplir con los ambiciosos objetivos de reducción de gases de efecto invernadero, es fundamental explorar nuevos enfoques para la generación de energía que minimicen el impacto ambiental. Las autopistas, con su amplio alcance a través de paisajes urbanos y rurales, ofrecen una oportunidad única para aprovechar las tecnologías de generación de energía renovable . Además, la expansión incesante de las áreas urbanas y las redes de transporte exige una reimaginación de las autopistas como activos multifuncionales. Más allá de su función principal como conductos para el transporte vehicular, las autopistas pueden transformarse en corredores energéticos. Este enfoque de doble propósito no solo se alinea con la conciencia ambiental, sino que también ofrece un medio práctico para satisfacer las crecientes necesidades energéticas de las sociedades modernas."	https://link.springer.com/epzproxy.unicolmayor.edu.co/article/10.1007/s00202-024-02379-8
6	Touairi, S., Mabrouki, M. Evaluación de control y modelado de un sistema recolector piezoeléctrico. Int. J. Dynam. Control 9 , 1559–1575 (2021). https://doi.org/epzproxy.unicolmayor.edu.co/10.1007/s40435-021-00764-w	Este artículo presenta un nuevo modelo de recolector piezoeléctrico de dos grados de libertad diseñado para captar energía de las vibraciones generadas por el movimiento de vehículos sobre diferentes tipos de carreteras. Utilizando la técnica Bond Graph, se simula el modelo en un entorno 20-Sim vinculado a MATLAB/Simulink. El sistema se enfoca en mejorar la comodidad de conducción y garantizar la salud del conductor al transitar sobre perfiles de carretera aleatorios.	"La integración de sensores inalámbricos, microprocesadores y tecnologías de comunicación inalámbrica en AEV es impulsada rápidamente por diferentes industrias de fabricación de automóviles [1 , 2]. Sin embargo, el suministro de energía eléctrica se convierte en una valla ya que la utilización de energía eléctrica por parte del AEV será alta debido a las largas distancias de conducción [3]. En este sentido, se ha introducido un nuevo sistema de recolección piezoeléctrica para mejorar la recolección de energía de vibración, proporcionar nuevas características e introducir nuevas tecnologías [4]. Aunque la recolección de energía de vibración (VEH) utilizando el voladizo piezoeléctrico ya se ha mencionado en la literatura científica, muchos investigadores han centrado su atención en el sistema de recolección piezoeléctrica "	https://link.springer.com/epzproxy.unicolmayor.edu.co/article/10.1007/s40435-021-00764-w
7	Jhun, JP, Do Hong, S., Jeon, DH et al. La eficacia de un recolector de energía piezoeléctrico de diferente ancho en el sistema de recolección de energía de baldosas para peatones para sensores de Internet de las cosas. J. Korean Phys. Soc. 78 , 81–88 (2021). https://doi.org/epzproxy.unicolmayor.edu.co/10.1007/s40042-020-00036-4	En el estudio se diseña un sistema de recolección de energía de baldosas para peatones (PFEH) que admite recolectores de diferentes anchos (20, 30 y 40 mm) para operar sensores de Internet de las Cosas (IoT). Las características eléctricas de los recolectores de energía piezoeléctrica (PEH) se midieron con un analizador de impedancia. Los PEH se desplazan mediante un mecanismo en voladizo a una distancia de 4 mm. Las simulaciones de elementos finitos en ANSYS mostraron distribuciones de tensión similares para diferentes anchos bajo el mismo desplazamiento.	"La recolección de energía está atrayendo interés como base tecnológica para la Internet de las cosas (IoT), la tecnología central de la cuarta revolución industrial. Para resolver el problema del suministro de energía para los sensores de los sistemas IoT, la tecnología de recolección de energía se investiga continuamente. Existen diferentes fuentes de energía para la tecnología de recolección de energía, incluida la luz [4 , 5], el calor [6] y la vibración [7 , 8 , 9]. Entre estas, la recolección de energía piezoeléctrica basada en vibración es ventajosa debido a su aplicación potencialmente más amplia. Además, el viento [10 , 11], el agua, los vehículos [14 , 15] y los humanos también pueden servir como fuentes de energía para la tecnología de recolección de energía piezoeléctrica basada en vibración."	https://link.springer.com/epzproxy.unicolmayor.edu.co/article/10.1007/s40042-020-00036-4

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 9 Investigaciones de referencia

1	<p>Alvarez Rueda, A., Schäflner, P., Petritz, A., Groten, J., Tschopp, A., Petersen, F., Zinkl, M., & Stadlober, B. (2023). Estudio de la distribución de la presión en baldosas de suelo con sensores impresos de PVDF: IFRB para aplicaciones de superficies inteligentes. <i>Sensors</i> (1424822), 23(2), 603. https://doi.org/eproxy.unicolmayor.edu.co/10.3390/s23020603</p>	<p>El documento presenta un concepto de suelo inteligente basado en baldosas equipadas con una matriz de sensores piezoeléctricos impresos, que permite la detección de movimiento y eventos sin problemas de privacidad asociados a la videovigilancia. Se desarrolló un modelo de simulación para estudiar la propagación de la presión en el suelo, logrando un margen de error del 1,5% lo que es útil para optimizar la disposición de los píxeles. Además, se demostró la viabilidad de la baldosa con una conexión inalámbrica, mostrando su capacidad para detectar toques y movimientos.</p>	<p>"El coeficiente piezoeléctrico aparente, d_{33}, se midió para cada píxel antes de pegar la lámina del sensor a la baldosa del suelo. Para ello, un sello neumático aplicó hasta 90 N sobre el píxel del sensor siguiendo un pulso triangular a 0,5 Hz. El transductor se situó sobre un sensor de fuerza. Para garantizar que la fuerza se aplicara de forma homogénea sobre el píxel, se colocó una lámina de PET rectangular de 1 x 1 cm 2 entre el píxel del sensor y el sello. Tanto la salida del sensor de fuerza como la salida del píxel del transductor se midieron simultáneamente con una tarjeta PXI de National Instruments. La señal de corriente del transductor se convirtió en una señal de tensión utilizando un amplificador de transimpedancia (TA) y se integró para obtener la carga piezoeléctrica. La aparente d_{33} Luego se determinó el parámetro a partir de un ajuste lineal del gráfico de carga-fuerza. En la Información complementaria (Figura S4) se muestra un ejemplo de una medición y una imagen de la configuración."</p>	<p>https://search-ebcshost-com.eproxy.unicolmayor.edu.co/login.aspx?direct=true&db=eh&AN=16166007&lang-es&site=ehost-live</p>
2	<p>Rahman, FR, Wirandi, M., Riyal, M., Rahmayanti, y Septiawan, MR(2023). Diseño y desarrollo de equipos de conversión de energía cinética de la pisada en energía eléctrica. <i>Actas de la conferencia AP</i>, 2630(1), 1-9. https://doi.org/eproxy.unicolmayor.edu.co/10.1063/5.0126266</p>	<p>El estudio aborda la recolección de energía a través de dispositivos piezoeléctricos, enfatizando la necesidad de fuentes alternativas a los combustibles fósiles. Se desarrolló un dispositivo a pequeña escala con 15 componentes piezoeléctricos organizados en un arreglo serie-paralelo.</p>	<p>"A través de un generador de energía de pasos. Existen diferentes tipos de generadores de energía de pasos. Disponible en el mercado y mayor la seguridad de uso de estos dispositivos transductor piezoeléctrico para generar energía. Uno de los mayores desafíos en el diseño de la potencia de la pisada los generadores con transductor piezoeléctrico son la elección de material piezoeléctrico adecuado material porque a veces la eficiencia de conversión de energía cinética en electricidad [5]. Convencionalmente, la potencia del paso piezoeléctrico B generador utiliza materiales ferroeléctricos compuestos de cristal, como el titanato de plomo (II) (Pb(ZnTiO3), Zirconato de plomo (II) (PbZrO3)."</p>	<p>https://search-ebcshost-com.eproxy.unicolmayor.edu.co/login.aspx?direct=true&db=eh&AN=16333662&lang-es&site=ehost-live</p>
3	<p>Salim, KK, Shaaili, IH, Yehia, HM, Ahmed, MARY, Saleh, DA (2024). Sensores piezoeléctricos presionados por pisadas humanas para la recolección de energía. <i>Energies</i> (19361073), 17(10), 2297. https://doi.org/eproxy.unicolmayor.edu.co/10.3390/en17102297</p>	<p>Este estudio explora el aprovechamiento de la energía cinética generada por las pisadas humanas a través de sensores piezoeléctricos instalados debajo de baldosas del piso. Se utilizó un circuito rectificador simple con un filtro para captar la energía eléctrica producida. Las baldosas tienen dimensiones de 465 mm de largo y 405 mm de ancho, y se logró encender dos diodos emisores de luz como carga utilizando la energía generada.</p>	<p>"Es posible generar mayor potencia conectando múltiples recolectores de energía piezoeléctricos. Sin embargo, el recolector de energía piezoeléctrico no se puede conectar directamente a cargas eléctricas porque el alto voltaje de salida cambia según como camina la gente y cuánta presión hay a lo largo del tiempo. Además, un simple rectificador de puente de onda completa es insuficiente debido a la forma de onda inestable que resulta de la etapa de rectificación. Como resultado, se necesita un circuito de control adecuado para resolver estos problemas [7], [26]. Este estudio examina la viabilidad de producir energía a partir de cristales piezoeléctricos y proporciona un plan detallado para los componentes mecánicos y eléctricos del sistema de recolección de energía propuesto. Además, incorpora validación experimental para evaluar los aspectos mecánicos. El manuscrito está organizado de la siguiente manera: la Sección 2 es el Diseño y Validación Experimental, la Sección 3 presenta los Resultados y Discusión, y la Sección 4 cubre la Conclusión de este estudio."</p>	<p>https://search-ebcshost-com.eproxy.unicolmayor.edu.co/login.aspx?direct=true&db=eh&AN=17748925&lang-es&site=ehost-live</p>
4	<p>Dongfang Yang, Aoxing Sun, Yuan Yuan Pan, Kai Wang. Mechanical energy harvesting Advancements in piezoelectric nanogenerators. <i>International Journal of Electrochemical Science</i>, Volume 19, Issue 10, 2024, 100793, ISSN 1452-3981. https://doi.org/10.1016/j.ijoes.2024.100793.</p>	<p>La energía mecánica, especialmente la derivada de vibraciones, se presenta como una de las formas más accesibles y abundantes de energía en el entorno. La densidad de energía disponible en vibraciones de frecuencias que varían desde cientos de hercios hasta kHz oscila entre cientos de microwatts y milivattios por centímetro cúbico. La recolección de esta energía para cargar baterías y alimentar dispositivos electrónicos ha cobrado relevancia, destacando el potencial de los nanogeneradores piezoeléctricos (PENG). Estos dispositivos utilizan materiales piezoeléctricos a escala nanométrica para convertir energía mecánica en energía eléctrica, ofreciendo una alternativa más sostenible en comparación con las baterías químicas.</p>	<p>"El efecto piezoeléctrico es un efecto físico especial que se refiere al fenómeno de separación de cargas en ciertos materiales cuando se aplica tensión mecánica o campo eléctrico, lo que da como resultado cambios en la estructura atómica o molecular interna del material. Se divide en efecto piezoeléctrico directo y efecto piezoeléctrico inverso."</p>	<p>https://www.sciencedirect-com.eproxy.unicolmayor.edu.co/science/article/pii/S1452398124000341</p>
5	<p>Yaqing Huang, Yanwei Sun, Jibing Xu, Xiangzhan Hu, Minshui Xia, Xiudeng Wang, Hui kang Xia, Siquang An, Ge Shi, Piezoelectric-electromagnetic collaborative energy extraction circuit for wearable vibration energy harvester. <i>Microelectronics Journal</i>, Volume 152, 2024, 106376, ISSN 1879-2391. https://doi.org/10.1016/j.mejo.2024.106376.</p>	<p>El artículo presenta un circuito de extracción de energía colaborativa piezoeléctrica-electromagnética (PEC-EC) diseñado para recolectar energía de vibraciones de baja frecuencia, como el balanceo del brazo, en dispositivos portátiles. Este circuito combina la recolección de energía de un transductor piezoeléctrico (PZT) y un generador de bobina electromagnética (EBG).</p>	<p>"La recolección de energía de vibración explorada en la investigación enfatiza principalmente los componentes del sensor y del transductor mecánico [6]. Actualmente, en el ámbito de los circuitos de interfaz para recolectar energía piezoeléctrica, las técnicas predominantes involucran enfoques de extracción no lineal. Los ejemplos incluyen la aplicación de la recolección de conmutación sincrónica en serie en inductores (SSH) [7, 8], la recolección de conmutación sincrónica en paralelo en inductores (P-SSH) y los circuitos de interfaz que emplean la extracción de carga eléctrica sincrónica (SECE) [9, 10]. En el caso de SECE, la potencia de salida no se ve afectada significativamente por la carga debido a sus ventajas estructurales."</p>	<p>https://www.sciencedirect-com.eproxy.unicolmayor.edu.co/science/article/pii/S1879239124000808</p>
6	<p>Satyashadhan Dwarah, Parsawjit Kalita, Sanjeev Kumar, Progress in mechanical energy harvesting via piezoelectric polymers and biomaterials. <i>Polymer</i>, Volume 312, 2024, 127640, ISSN 0032-3861. https://doi.org/10.1016/j.polymer.2024.127640.</p>	<p>Esta investigación aborda el uso de materiales piezoeléctricos, incluidos los híbridos de biorresiduos y PVDF, para convertir movimientos cotidianos, como caminar o respirar, en energía eléctrica. También se discuten aplicaciones en monitoreo de salud mediante la recolección de energía de movimientos involuntarios. Se analiza la biocompatibilidad de estos materiales para aplicaciones in vitro y vivo, y se exploran perspectivas futuras en el desarrollo de dispositivos electrónicos flexibles. La revisión destaca la importancia de estos nuevos materiales piezoeléctricos y su potencial en la investigación.</p>	<p>"Aunque la recolección de energía mecánica es un enfoque respetuoso con el medio ambiente para la generación de energía, existen algunos desafíos y limitaciones que se observan con frecuencia. Estos incluyen: La potencia de salida de la recolección de energía mecánica es bastante baja en magnitud (~ nW-mW) y es adecuada solo para aplicaciones de baja potencia. La eficiencia de conversión de energía de la energía mecánica ambiental es baja debido a factores como la naturaleza del material, el diseño del dispositivo, las pérdidas de energía durante la conversión, etc. La variación en las vibraciones mecánicas del entorno no proporciona un suministro de energía constante. Para compensar la baja potencia de salida, se debe aumentar el tamaño del recolector, lo que dificulta su integración en dispositivos portátiles y miniatura. El desarrollo de recolectores de energía de un solo material que puedan recolectar efectivamente una gama más amplia de vibraciones ambientales también es otro problema. 6) Los materiales piezoeléctricos tradicionales como PZT (titanato de zirconato de plomo), ZnO (óxido de zinc), PMN-PT (niobato de plomo y manganeso-titanato de plomo), etc., se utilizan ampliamente en la fabricación de nanogeneradores debido a que pueden generar mayor potencia de salida."</p>	<p>https://www.sciencedirect-com.eproxy.unicolmayor.edu.co/science/article/pii/S0032386124000765</p>
7	<p>Xiao Pan, Yuying Wu, Youfu Wang, Gang Zhou, Hongjing Cai, Mechanical energy harvesting based on the piezoelectric materials: Recent advances and future perspectives. <i>Chemical Engineering Journal</i>, Volume 497, 2024, 154249, ISSN 1385-8947. https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.154249.</p>	<p>Este artículo proporciona una visión integral de la recolección de energía mecánica con materiales piezoeléctricos híbridos (inorgánicos, orgánicos y orgánico-inorgánicos), se exploran los principios del efecto piezoeléctrico, se destacan materiales representativos y se discuten sus aplicaciones en áreas como sensores y diagnósticos médicos. Además, se analiza la importancia de la selección de electrodos y se propone el uso de aprendizaje automático para fomentar la innovación en el descubrimiento de nuevos materiales.</p>	<p>"En 1880, Pierre Curie y Jacques Curie descubrieron el fenómeno de acumulación de carga en ciertos materiales sólidos con estructuras no centrosimétricas bajo la influencia de estrés mecánico mientras estudiaban cristales. Acuñaron el término "efecto piezoeléctrico" [41] para describir este fenómeno, refiriéndose a los materiales que exhiben este efecto como materiales piezoeléctricos."</p>	<p>https://www.sciencedirect-com.eproxy.unicolmayor.edu.co/science/article/pii/S1385894724057363</p>

Fuente: Elaboración propia, 2024

Marco Teórico

Definiciones y conceptos

A finales del siglo XIX, los hermanos Curie realizaron un descubrimiento fundamental al estudiar las propiedades del cuarzo. Observaron que, al aplicar presión sobre este cristal, se generaba electricidad, un fenómeno que denominaron piezoelectricidad, derivado del griego 'piezein' que significa 'apretar'. Este efecto directo, donde una fuerza mecánica induce una carga eléctrica, fue el primer paso en la comprensión de esta propiedad. Sin embargo, fue Gabriel Lippmann quien, en el año 1944, postuló y demostró el efecto piezoeléctrico inverso: al aplicar un campo eléctrico a un cristal piezoeléctrico, este se deforma. Este hallazgo bilateral sentó las bases para futuras investigaciones en materiales que pueden convertir energía mecánica en eléctrica, y viceversa, abriendo un vasto campo de aplicaciones en diversas áreas de la ciencia y la tecnología.

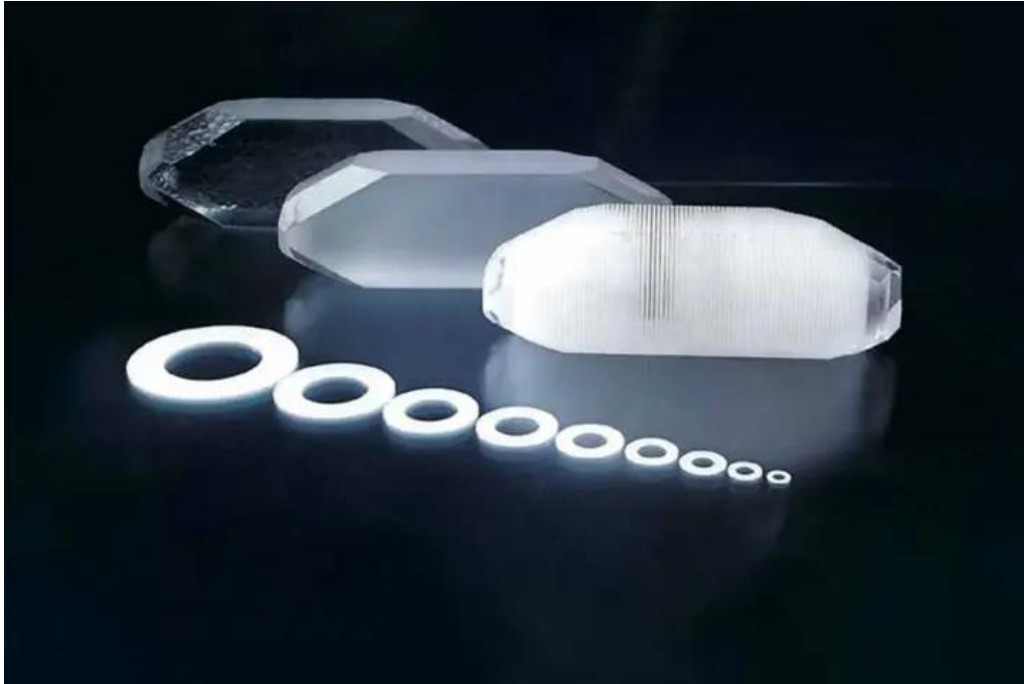
La piezoelectricidad es el término general que describe la propiedad que exhiben algunos cristales (redes cristalinas) para llegar a polarizarse eléctricamente cuando se les aplica una tensión, bien compresiva, bien extensiva. El cuarzo es un buen ejemplo de material piezoeléctrico. Si el esfuerzo de compresión se aplica al cristal, éste desarrolla un momento eléctrico proporcional a la fuerza aplicada (Efecto piezoeléctrico directo. Opuestamente, si el elemento se introduce en un campo eléctrico, su morfología cambia levemente (Efecto piezoeléctrico opuesto) como consecuencia termodinámica del esfuerzo directo.

La piezoelectricidad se da también en las redes cristalinas metálicas, por ejemplo, en la turmalina y sales de Rochelle. Estos ya tienen una polarización espontánea de por sí y el efecto piezoeléctrico nos muestra un cambio de polarización (Gutierrez,2010).

Los materiales piezoeléctricos son una clase de materiales inteligentes que presentan la capacidad de convertir energía mecánica en energía eléctrica y viceversa. Esta propiedad, denominada piezoelectricidad, se basa en la separación de cargas eléctricas dentro de la estructura cristalina del material cuando se somete a una fuerza mecánica. El presente marco teórico se centra en la historia, propiedades, aplicaciones y perspectivas futuras de estos materiales. Todos los materiales piezoeléctricos se pueden dividir en dos grupos, por un lado, los piezoeléctricos de origen natural y por otro lado los de origen artificial.

Materiales piezoeléctricos naturales

Los principales materiales piezoeléctricos naturales que podemos apreciar son el Cuarzo, la Turmalina, la Sal de Rochelle. Estos materiales presentes en la naturaleza bajo la forma de minerales y cristales tienen una gran ventaja, y es que conservan muy bien sus propiedades con el paso del tiempo. Una de las desventajas que presenta la carga eléctrica producida es muy poca frente a los materiales sintéticos.

Ilustración 25 Cuarzos

Fuente: (Kistler, 2019)

El cuarzo ha sido el material más popular para aplicaciones de medición de presiones debido a su alta resistencia mecánica de 2-3 GPa, buena sensibilidad a la alta tensión y resistencia térmica de hasta 400°C. La Sal de Rochelle también se utiliza para fabricar varios tipos de dispositivos electrónicos debido a su alta piezoelectricidad. Sin embargo, sus aplicaciones suelen ser limitadas debido a su vulnerabilidad frente a los líquidos y a las altas temperaturas. El fenómeno de ferroelectricidad fue observado por primera vez en este material en 1920 (Menéndez, 2022).

Materiales piezoeléctricos artificiales

Hay una gran variedad de materiales tales como las Cerámicas, polímeros y artificiales, se hará una focalización en los que se pueden utilizar en el sistema de baldosa y más pertinentes. Serían las cerámicas, los polímeros, los monocristales descritos a continuación.

Ilustración 26 PZTS



Fuente: (Yorobotics, 2024)

Cerámicas

Las cerámicas piezoeléctricas son la base de una tecnología ubicua y madura que se presenta en los elementos activos de una gran variedad de dispositivos de transducción electromecánica, que incluyen sensores, actuadores, sistemas inteligentes, transductores ultrasónicos o dispositivos de acústica submarina, entre otros. Las cerámicas piezoeléctricas también se están considerando para nuevas aplicaciones tales como la recolección de energía y la transducción magnetoeléctrica.

Ilustración 27 Cerámicas

Fuente: (Manufact china, 2023)

Las cerámicas piezoeléctricas empezaron a aparecer en los años 1940 – 1950, después de la Primera Guerra Mundial tras la necesidad de encontrar un material que presentase mejores propiedades que el piezoeléctrico de origen natural como el cuarzo. Fue entonces cuando se empezaron a desarrollar las cerámicas piezoeléctricas como por ejemplo el Titanato de Bario (BaTiO_3) en Japón y la URSS, el Titanato Zirconato de Plomo (PZT's) en los Estados Unidos. Son de carácter ferroeléctrico lo que significa que se tienen que polarizar externamente. Se pueden separar principalmente en dos familias en función de sus propiedades: las piezas cerámicas duras e inconsistentes. Las cerámicas blancas son las que presentan un mejor rendimiento y serán utilizadas en aplicaciones que requieran grandes deformaciones o altos coeficientes de

acoplamiento. Las cerámicas duras no presentan tan buen rendimiento, pero resisten a altas temperaturas y elevadas potencias.

Polímeros

Los polímeros piezoeléctricos son materiales a base de carbono formados por una larga cadena de monómeros. Son los que presentan mejores propiedades mecánicas y mayor flexibilidad. El polímero más común y utilizado es el fluoruro de polivinilideno también conocido como PVDF y posee una estructura semicristalina. Su mayor ventaja es que presentan una gran flexibilidad y por lo tanto su capacidad de soportar grandes tensiones. Lamentablemente, este tipo de material es el que suele producir la menor corriente eléctrica a la salida del sistema, del orden de micro watts o nano watts, debido a su pequeño coeficiente de acoplamiento.

Ilustración 28 módulos



Fuente: (Mianyang, 2022)

Monocristales

El uso de piezoeléctricos monocristales es poco frecuente debido a su elevado coste y a su menor resistencia mecánica. Estos materiales tienen muy buenos coeficientes de acoplamiento electromecánico y de carga piezoeléctrica. Aunque han demostrado producir una mayor densidad de potencia comparados a otros materiales piezoeléctricos, los dispositivos captadores de energía fabricados con ellos solo han proporcionado potencias de hasta unos pocos milivoltios.

Ilustración 29 Polímeros



Fuente: (Metal Laser INC, 2024)

Aplicaciones de la piezoelectricidad

Los materiales piezoeléctricos han demostrado ser elementos fundamentales en diversas industrias, aunque su relevancia a menudo pasa desapercibida para el público en general. Estos materiales tienen la capacidad de generar electricidad a partir de tensiones mecánicas, es decir, cuando se les aplica presión o deformación, se produce una carga eléctrica. Este fenómeno,

conocido como piezoelectricidad, ha encontrado aplicaciones en múltiples sectores, desde el médico hasta el tecnológico y energético, pero a menudo no es algo visible o comprendido por el ciudadano común.

Algunas aplicaciones de la vida cotidiana demuestran estos hechos, tal es el caso de los encendedores eléctricos, micrófonos, altavoces y sensores táctiles, que convierten las ondas sonoras en señales eléctricas y viceversa, en casos más especializados los materiales piezoeléctricos son cruciales en sectores como la ingeniería aeroespacial, la automoción y la biomedicina, los sensores de presión, vibración y ultrasonido en aviones y automóviles utilizan la capacidad piezoeléctrica para monitorear el estado de los sistemas mecánicos. En medicina, estos materiales se emplean en equipos de ultrasonido, donde las vibraciones inducidas por la electricidad permiten obtener imágenes internas del cuerpo humano (REPSOL,2023).

En el campo de la construcción se han realizado investigaciones significativas con el fin de implementar soluciones energéticas, es el caso del artículo *Aplicaciones de la piezoelectricidad en Ingeniería Civil*, el diseño del proyecto consiste en fabricar losetas de cerámica con múltiples celdas piezoeléctricas, aplicadas sobre una caja de concreto de 20 cm de alto, instaladas en serie dentro de su parte interna, las que están conectadas a un acumulador eléctrico para su posterior utilización; De esta manera, un conjunto de cerámicas y/o losetas pueden ser instaladas en sitios donde recibirán gran cantidad de movimientos para generar electricidad como autopistas, aeropuertos o vías de autobuses (ÁLVAREZ, 2017).

Otro caso de estudio publicado por ELSEVIER compañía de análisis global de información en el boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, llamado Optimización de

piezoeléctricos comerciales para su uso en sistemas de *Energy Harvesting*, plantea que modelos optimizados de almacenamiento de energía piezoeléctrica, teniendo en cuenta dos posibilidades: captación de energía a partir de vibraciones continuas, incluso de baja intensidad, o captación de energía a partir de impactos, se determinó que los materiales piezoeléctricos, dependiendo de sus diferentes tipologías y formas, permiten mejorar los niveles de energía, los tiempos de carga de los condensadores y se evidencia un incremento de la potencia disponible (Francisco Javier Jiménez Martínez, 2015).

Marco Histórico

En 1880 Pierre y Jacques Curie descubrieron que ciertos materiales producen cargas eléctricas en sus superficies como consecuencia de aplicar esfuerzo mecánico, donde las cargas inducidas son proporcionales a la tensión mecánica.

Esto se llama efecto piezoeléctrico gracias a los materiales en los que se presenta este fenómeno, y a la electricidad producida se le denominó piezoelectricidad, donde la palabra piezo se deriva del griego “piezein” que significa presionar (Nova, 2021)

Este descubrimiento fue una aproximación a los recolectores de energía en forma de carga. Sin embargo, en 1826 Thomas Johann Seebeck descubrió que una corriente fluiría en un circuito cerrado hecho de dos metales diferentes cuando se mantienen a diferentes temperaturas, siendo esta la primera observación de los *Energy Harvesting* en la historia. (NCYT, 2024)

Durante las siguientes tres décadas, los efectos termoeléctricos básicos fueron explorados y entendidos macroscópicamente, en donde se reconoció su aplicabilidad a la termometría, la generación de energía y la refrigeración Pierre y Jacques Curie demostraron experimentalmente

que ciertos cristales mostraban una carga superficial cuando estaban sujetos a estrés mecánico. (Rubio, 2018)

El experimento realizado por los jóvenes consistió en la medición de las cargas que aparecen en cristales preparados como lo son la turmalina, cuarzo, topacio, caña de azúcar y sal de Rochelle entre otros, los cuales fueron sometidos a estrés mecánico. Después los Curie afirmaron "la cantidad de electricidad es proporcional a la variación de la presión ". Que, además, " Por la misma variación de la presión la cantidad de electricidad liberada es independiente de las dimensiones de la turmalina ". Estos resultados fueron un crédito a la imaginación y perseverancia. De la misma forma pronto encontraron que el cuarzo obedecía a las mismas reglas y por lo tanto consideraron que el efecto eléctrico de la variación en la presión sería lineal en todos los cristales (Nova, 2021) En el año del descubrimiento los hermanos Curie llevaron a cabo un nuevo experimento para medir los coeficientes de la turmalina y el cuarzo, buscando las relaciones entre la presión y la carga eléctrica, considerando que la tensión es proporcional a la carga. Sin embargo, para determinar los valores de los coeficientes, los hermanos tenían que hallar la cantidad de carga, que es igual a la multiplicación de la tensión por la capacidad (Nova, 2021). Con una serie de experimentos, en donde el análisis de datos no requería de cálculos complejos, ellos 19 encontraron que una presión de 1 kg genera una carga de 0.062 unidades electrostáticas en cuarzo y de 0,0531 en turmalina (Nova, 2021).

En 1881 Gabriel Lippmann descubrió que un material piezoeléctrico sometido a una carga eléctrica genera deformaciones mecánicas en el material, él afirma "la deformación geométrica del material piezoeléctrico es proporcional a un campo eléctrico aplicado" a este fenómeno piezoeléctrico se le llamó efecto piezo inverso. (Alejano, 2018)

El 10 de abril de 1912 ocurrió la tragedia del hundimiento del Titánic, el cual fue ocasionado por un iceberg escondido en el mar, si se hubiera desarrollado el sistema de sonar ultrasónico, no habría sucedido tal accidente. Debido a este trágico incidente, se motivó el desarrollo de la tecnología ultrasónica utilizando la piezoelectricidad la cual era oscura incluso entre los cristalógrafos, ya que las matemáticas necesarias para comprenderla eran complicadas.

En 1944 los investigadores M. Wool y P. Goldman del Lebedev Physical Institute de la antigua Unión Soviética, avanzaron en la invención y desarrollo de piezoeléctricos sintéticos, como la cerámica piezoeléctrica de titanato de bario (BaTiO_3). Posteriormente se continúan las investigaciones, dando como resultado la creación de titanato zirconato de plomo (PZT) en EUA (Wikipedia, 2024). En la actualidad las cerámicas piezoeléctricas tipo PZT predominan en el mercado por su alta eficiencia, es aproximadamente cien veces más eficiente que el cuarzo, y puede convertir hasta el 80% de la energía mecánica en eléctrica y es capaz de operar a temperaturas inferiores a $0\text{ }^\circ\text{C}$ y bajo el agua, además ser altamente resistente a la corrosión y tener alta resistividad eléctrica. Las aplicaciones más comunes de estas se encuentran en equipos médicos para ecografías, micrófonos, encendedores, válvulas electromecánicas y sensores.

En 1969 se descubre el efecto piezoeléctrico en el polifluoruro de vinilideno (PVDF), este es un piezoeléctrico polimérico y es el más común en la actualidad, este tipo de material es un termoplástico semicristalino, el cual se desarrolló en el estado de Hawái, gracias a este descubrimiento, el PVDF ha tomado gran impulso en aplicaciones aeronáuticas y aeroespaciales, como también para fabricar múltiples productos que incluyen sensores de presión, actuadores mecánicos, recolectores de energía, para el uso en los sectores químico, nuclear, farmacéutico, biomédico y eléctrico (Rubio, 2018).

La evolución que han tenido las investigaciones relacionadas con materiales piezoeléctricos hasta ahora ha llevado a grandes avances significativos, descubriendo nuevos materiales y usando compuestos alternativos que presentan propiedades similares, con el objetivo de dar soluciones óptimas y eficientes a sistemas sostenibles que sean amables con el medio ambiente, es así que entre los materiales piezoeléctricos más comunes en la actualidad se encuentran los cerámicos, los poliméricos y los piezo compuestos, donde los materiales piezo compuestos son materiales que aprovechan las propiedades de dos o más materiales (vidrios, cerámicos y plásticos), que al ser combinados y unidos de ciertas maneras y en proporciones adecuadas, forman un nuevo material con propiedades diferentes a las originales. En consecuencia, pueden lograrse combinaciones de propiedades que son difíciles de obtener en materiales convencionales, tal como alta resistencia y tenacidad, es así que los piezo compuestos están formados por dos fases, una activa que está conformada por una cerámica piezoeléctrica, y una pasiva conformada por un polímero o un vidrio, permitiendo sustituir ventajosamente a las cerámicas piezoeléctricas en algunas aplicaciones tecnológicas, principalmente en sistemas con sensores de presión hidrostática y ecografía, de igual forma presentan mejoras con respecto a los poliméricos en algunos de los parámetros piezoeléctricos, siendo mejores receptores en altas (Repsol, 2023)

La industria de la construcción es el sector productivo que más consume recursos naturales por lo cual está en busca de soluciones que permitan minimizar el impacto ambiental que genera, algunas de estas están basadas en el uso de energías limpias, otras en el uso de materiales sostenibles y algunas otras en devolver a la cadena productiva aquellos desechos que resultan de las demoliciones. Con este contexto la piezoelectricidad coge protagonismo dentro de la línea de

energías renovables o no convencionales, debido a su potencial para recoger energía que no se aprovecha como la que resulta de las pisadas de las personas, la vibración de placas a partir del viento o la presión de las llantas de los vehículos cuando pasan por un asfalto que contiene sensores piezoeléctricos estas dos alternativas dejan entrever el futuro de la construcción sostenible, a continuación, la tabla establece el impacto ambiental por sectores productivos, con la cual se establece el panorama actual y permite tomar medidas específicas y definir límites operacionales.

Marco normativo

Colombia ha establecido un marco normativo robusto para la protección del medio ambiente a través de diversas leyes y regulaciones, la ley 99 de 1993 creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA), estableció la estructura para la gestión ambiental en el país. Esta ley promueve la integración de la protección ambiental en todas las actividades económicas y establece principios para la sostenibilidad y la prevención de la contaminación (Gutierrez, 2016)

Además, el plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 incorpora objetivos de sostenibilidad y adaptación al cambio climático, alineando las políticas nacionales con los compromisos internacionales en materia de cambio climático. Este plan destaca la necesidad de tecnologías limpias y soluciones innovadoras para reducir la huella de carbono y promover la resiliencia ambiental (DPND, 2022)

El decreto 926 de 2017 establece el régimen de incentivos para el desarrollo de proyectos de energías renovables no convencionales, aunque el decreto se centra en solo para energías solares y eólicas, establece un marco de apoyo para la adopción de tecnologías innovadoras que contribuyan a la generación de energía limpia y sostenible. (Congreso nacional de Colombia, 2017)

Tabla 10 Normatividad

NORMA	ÓRGANO	CONTENIDO
LEY 142 DE 1994	Congreso de la República	Establece el régimen para los servicios públicos domiciliarios, incluyendo la energía eléctrica, y define los principios para la prestación de estos servicios, esta ley es fundamental para asegurar que la generación y distribución de energía proveniente de tecnologías innovadoras como la propuesta en el proyecto se alineen con los estándares establecidos para el suministro de energía en el país
LEY 143 DE 1994	Congreso de la República	Regula el régimen para la generación, transmisión, distribución y comercialización de electricidad, proporcionando el marco legal necesario para integrar nuevas fuentes de energía en la red eléctrica nacional
LEY 697 DE 2001	Congreso de la República	Incentiva el uso racional de la energía y promueve el desarrollo de energías alternativas, apoyando la adopción de tecnologías novedosas.
LEY 1665 DE 2013	Congreso de la República	Aprueba el Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) y refleja el compromiso de Colombia con el desarrollo y la integración de energías renovables a nivel internacional.
LEY 1715 DE 2014	Congreso de la República	Establece las normas para incorporar Energías Renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, buscando aprovechar estas fuentes alternativas, su objetivo es promover la inversión, la

		investigación y el desarrollo de tecnologías limpias para la generación de energía, la eficiencia energética y la gestión de la demanda.
DECRETO 2143 DE 2015	Congreso de la República	añade disposiciones al Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, estableciendo lineamientos para la aplicación de incentivos previstos en la Ley 1715 de 2014. Este decreto especifica los procedimientos para acceder a beneficios fiscales que apoyen el desarrollo de proyectos de energías renovables no convencionales
DECRETO 926 DE 2017	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Establece el régimen de incentivos para el desarrollo de proyectos de energías renovables no convencionales, aunque el decreto se centra en solo para energías solares y eólicas, establece un marco de apoyo para la adopción de tecnologías innovadoras que contribuyan a la generación de energía limpia y sostenible.
DECRETO 990 DE 2002	Congreso de la República	Modifica la estructura de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, fomenta el uso racional y eficiente de la energía y promueve la utilización de energías alternativas.
RESOLUCIÓN 045 DE 2016	Ministerio de minas y energía	Establece los procedimientos y requisitos para certificar proyectos de fuentes no convencionales de energía, permitiendo la exclusión del IVA y la exención de gravámenes arancelarios.

Fuente: Elaboración propia, 2024

En resumen, el marco legal para el proyecto de baldosas piezoeléctricas en Colombia está constituido por una serie de leyes y decretos que regulan los servicios públicos, la energía y la integración de energías alternativas. Estas normativas proporcionan el marco necesario para la correcta implementación del proyecto, asegurando su alineación con las políticas nacionales de eficiencia energética y sostenibilidad, así como el acceso a incentivos que faciliten su desarrollo y adopción.

Tabla 11 Impacto por sectores productivos

SECTOR	RECURSOS CONSUMIDOS	IMPACTO AMBIENTAL	DATOS RELEVANTES
CONSTRUCCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Materias primas: arena, grava, cemento, madera, metales, agua. - Energía: combustibles fósiles y electricidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta emisión de CO₂ (38% de las emisiones globales relacionadas con la energía). - Degradación de ecosistemas por extracción de materiales. - Generación de residuos de demolición. 	<ul style="list-style-type: none"> - El sector usa el 50% de los recursos naturales a nivel mundial. - Consume el 36% de la energía global.
AGRICULTURA	<ul style="list-style-type: none"> - Tierra, agua dulce, fertilizantes, combustibles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdida de biodiversidad por deforestación. - Contaminación por uso excesivo de fertilizantes y pesticidas. - Generación de gases de efecto invernadero (metano y óxido nitroso). 	<ul style="list-style-type: none"> - El 70% del agua dulce se destina a la agricultura. - responsable del 20-30% de las emisiones de GHG.
MANUFACTURA	<ul style="list-style-type: none"> - Materiales como metales, plásticos, productos químicos. - Energía para maquinaria y procesos industriales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contaminación del aire y agua por desechos industriales. - Consumo intensivo de recursos minerales. - Alta generación de residuos peligrosos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Genera el 20% de las emisiones globales de CO₂. - Gran dependencia de recursos no renovables.

TRANSPORTE	<ul style="list-style-type: none"> - Combustibles fósiles (gasolina, diésel), materiales para vehículos y carreteras. 	<ul style="list-style-type: none"> - Altas emisiones de CO₂ y otros contaminantes del aire. - Impacto por construcción de infraestructura vial. - Consumo de minerales y metales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Representa el 14% de las emisiones globales de CO₂. - Depende en gran parte de combustibles fósiles.
TECNOLOGÍA	<ul style="list-style-type: none"> - Minerales raros (litio, cobalto, níquel). - Energía para producción y operación de dispositivos electrónicos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Degradación ambiental por minería de minerales raros. - Alta generación de residuos electrónicos. - Consumo creciente de energía para centros de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Genera el 2-3% de las emisiones globales de GHG. - Alto impacto en regiones mineras.

Fuente: (Asociación ambiente y sociedad, 2015)

Marco Ambiental

Extracción de materiales

Partimos de uno de sus principales impactos hacia el contexto ambiental que sería la extracción de materiales piezoeléctricos como (cuarzo, turmalina, rubidio) sabemos que la minería trae un impacto ambiental sumamente alto hacia los ecosistemas y biomas de los diferentes puntos del país y a nivel global, debido a la minería a cielo abierto, que altera las cantidades de suelo y vegetación alterando la morfología de los ecosistemas. Se ha identificado que también causa la contaminación de fuentes de agua cercanas.

Ilustración 30 Cuarzo



Fuente: Wikipedia, 2024

Ilustración 31 Turmalina



Fuente: Wikipedia, 2024

Ilustración 32



Fuente: La tabla periódica, 2024

También como estos minerales no son tan fáciles de conseguir son metales raros, utilizados en varios proyectos piezoeléctricos, hay una utilización de recursos alta en energía y agua. Las minas para encontrar estos metales son comúnmente ubicadas en regiones sensibles, lo que afecta directamente a la biodiversidad, deforestación y desplazamiento de la fauna local. (Lopez, 2019)

En cuanto los materiales sintéticos como el plomo zirconato titanio (PZT) Son materiales ferroeléctricos, este material contiene, plomo un metal pesado tóxico que puede contaminar el suelo y el agua si no se maneja con precaución.

Tabla 12 Materiales piezoeléctricos naturales

MATERIAL	PROPIEDADES PIEZOELÉCTRICAS	CARACTERÍSTICAS GENERALES	APLICACIONES EN PIEZOELECTRICIDAD
CUARZO	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficiente piezoeléctrico moderado, pero estable. - Respuesta lineal a tensiones mecánicas. - Frecuencia precisa y estable. 	<ul style="list-style-type: none"> - Material abundante en la naturaleza. - Gran resistencia térmica y mecánica. - Baja conductividad eléctrica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Usado en resonadores y osciladores de alta precisión (relojes, radios). - Ideal para sensores piezoeléctricos.
TURMALINA	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficiente piezoeléctrico bajo comparado con cuarzo. - Sensible a cambios de temperatura y presión. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es un cristal complejo con múltiples elementos químicos. - Se encuentra en colores y formas variadas. - Propiedades piroeléctricas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensores de presión y temperatura. - Dispositivos de recolección de energía en aplicaciones de baja escala.
RUBIDIO	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficiente piezoeléctrico alto en compuestos como rubidio titanato (RbTiO₃). - Excelente sensibilidad a estímulos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elemento metálico alcalino raro. - Reactivo y de alta conductividad térmica. - Forma compuestos sintéticos piezoeléctricos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Usado en celdas de almacenamiento energético avanzadas. - Desarrollo de tecnologías innovadoras en sensores.

Fuente: Elaboración propia, 2024

Marco Productivo

Procesos tecnológicos de producción

Procesos de fabricación

Ya en el proceso de fabricación de las baldosas piezoeléctricas incluye varias etapas que también tienen un impacto ambiental directo, con el procesamiento de materiales hasta la producción de los módulos piezoeléctricos y la integración del acabado que nos da el producto del piso piezoeléctrico. (Fernandez, 1993)

Consumo de energía

La producción de baldosas piezoeléctricas, especialmente el proceso de creación de los materiales ferroeléctricos como el PZT, requiere una cantidad significativa de energía, generalmente proveniente de fuentes no renovables. Esto incrementa la huella de carbono del producto. La energía utilizada para fabricar componentes sintéticos también genera emisiones de dióxido de carbono. (Merino, 2012)

Uso de químicos y residuos peligrosos

La fabricación de materiales piezoeléctricos implica el uso de productos químicos y solventes, algunos de los cuales pueden ser peligrosos si no se manejan adecuadamente. Por ejemplo, el uso de plomo en el PZT es una preocupación, ya que puede generar desechos tóxicos si no se recicla o se gestiona correctamente. El mal manejo de ellos puede contaminar ecosistemas fácilmente

Contaminación y desechos industriales

Durante la producción de baldosas piezoeléctricas, los residuos generados pueden incluir polvo metálico, residuos químicos, gases de proceso y desechos sólidos. Si no se gestionan de manera adecuada, estos residuos pueden contribuir a la contaminación del aire, agua y suelo. Además, la presencia de materiales peligrosos, como el plomo, plantea riesgos significativos para la salud humana y el medio ambiente si no se manejan con cuidado.

Si no se gestionan adecuadamente, los residuos metálicos pueden comportar graves riesgos en los vertederos y el entorno natural.

Los residuos metálicos, especialmente cuando incluyen metales pesados, no solo son difíciles de descomponer, sino que también pueden liberar sustancias tóxicas en el suelo y el agua, afectando tanto a los ecosistemas como a la salud humana

Los metales pesados provenientes de los residuos metálicos, como el plomo, el mercurio y el cadmio, pueden filtrarse en el suelo y alcanzar las fuentes de agua subterránea. La limpieza y recuperación de suelos contaminados por residuos metálicos es un proceso técnicamente delicado y con elevados costes económicos. (Laia, 2024)

Desempeño Ambiental

Las baldosas piezoeléctricas ofrecen un performance favorable durante su vida útil. Ya instaladas en las edificaciones su generación de energía limpia a partir de la presión mecánica reduce la dependencia de fuentes de energías convencionales y una contribución a la sostenibilidad. Beneficios como a la reducción de emisiones de carbono por su capacidad de generar electricidad a partir de actividades cotidianas como caminar. En proyectos a gran escala,

como en edificios comerciales o espacios públicos con alto tráfico peatonal, el uso de baldosas piezoeléctricas podría proporcionar una fuente continua de energía renovable, lo que contribuiría a la sostenibilidad del edificio.

La eficiencia energética en general de la edificación puede mejorar directamente a ella, y puede dar un paso a la creación de edificios autosuficientes energéticamente o con un consumo muy bajo.

Ya dentro de su vida útil la durabilidad de las baldosas piezoeléctricas, constan de materiales piezoeléctricos naturales como sintéticos tienen una larga vida útil y mantienen la capacidad de generar energía con el tiempo y esto reduce la necesidad de cambiarlos o reparar los componentes, minimizando el impacto que da la minería y la extracción de materiales.

Marco sociocultural

Durante la indagación de referencias acerca del uso de la energía piezoeléctrica vemos que hay múltiples aplicaciones que han permitido mejorar la calidad de vida de las personas, por lo cual, el actual texto da a conocer los posibles impactos en esta línea, es decir, muestra los posibles escenarios de progreso que se identifican basados en la implementación de otros tipos de energías sustentables, es importante tener en cuenta que el desarrollo de soluciones sostenibles están dirigidas a mejorar la relación entre el público y el entorno que los rodea, por lo tanto la dirección del impacto sociocultural esta dado por el mejoramiento de la calidad de vida de las personas y el aprovechamiento de los recursos naturales de forma eficiente y austera.

La implementación de baldosas piezoeléctricas en espacios públicos como parques, centros comerciales, plazuelas etc., tiene un impacto sociocultural profundo en las comunidades, ya que,

a través de la participación ciudadana, se fomenta el sentido de pertenencia y la corresponsabilidad entre los involucrados. la ejecución de este tipo de proyectos incentiva la curiosidad de las personas y permite la planificación y desarrollo de iniciativas que los benefician a todos, por lo tanto, la población en estos procesos no solo fortalece los lazos comunitarios, sino que también incrementa el apoyo y el compromiso hacia el proyecto.

Uno de los factores más significativos para promover la conciencia ambiental es la visibilización de tecnologías como las baldosas en áreas urbanas, gracias a la interacción diaria con las baldosas, es posible generar un recordatorio constante acerca de la importancia de la sostenibilidad y la transición hacia fuentes de energía renovable, crear reflexión y acción colectiva en torno a estos temas, es al final de cuentas, la forma más eficiente de educar a la población.

En segundo lugar, otro aspecto de gran relevancia es la equidad, La energía generada a partir de piezoelectricidad se convierte en iluminación del espacio público, esto ayuda a mejorar la seguridad y la calidad de vida en zonas segregadas o que carecen de servicios públicos, esto ayuda a reducir las disparidades en el acceso a la infraestructura básica, que finalmente promueve el desarrollo inclusivo, la aceptación social de estas tecnologías y comunicación efectiva al momento de exponer sus beneficios, estas condiciones permiten abordar cualquier conflicto o inquietud que pueda surgir en la comunidad para asegurar un apoyo generalizado y entusiasta hacia el proyecto.

Desde el punto de vista cultural, la implementación de fuentes de energía piezoeléctrica fortalece el tejido social y promueve la interacción entre ciudadanos, estos elementos, a través de un impulso social pueden convertirse en símbolos de identidad local, que representen el

compromiso de la comunidad con el patrimonio, la sostenibilidad y la innovación, claro está, que todo lo anterior no se realizará en la noche a la mañana estas soluciones representan grandes desafíos socioculturales que deben ser considerados, como la expectativas de la comunidad respecto del beneficio que puedan percibir, además, garantizar que los beneficios de estas tecnologías se distribuyan de manera equitativa es esencial para evitar la exclusión de sectores vulnerables de la población.

Finalmente, el contacto con esta tecnología puede influir en los comportamientos cotidianos, impulsando estilos de vida más sostenibles. La experiencia de ver cómo el movimiento se convierte en energía puede motivar a las personas a adoptar hábitos que minimicen su impacto ambiental. A medida que la energía piezoeléctrica se integra en la vida diaria, está moldeando no solo la infraestructura urbana, sino también las actitudes y comportamientos de las comunidades hacia un futuro más sostenible.

Matriz FODA Floor Energy S.A.S

Ilustración 33 FODA



Fuente: Elaboración propia

Gestión organizacional y administrativa

Estructura organizacional

La empresa de baldosas piezoeléctricas está conformada por tres socios fundadores que comparten funciones estratégicas y operativas dentro de una estructura organizacional horizontal, propia de emprendimientos innovadores y tecnológicos en etapa de crecimiento; cada socio asume un rol específico: uno lidera la producción técnica, otro el área comercial y de mercadeo, y el

tercero la gestión administrativa y financiera. Esta estructura facilita la toma de decisiones rápida, el control integral del proceso productivo y la interacción directa con clientes, proveedores y entidades gubernamentales.

- **Área Técnica y de Producción:** Encargada del diseño, manufactura y calidad del producto.
- **Área Comercial y de Mercadeo:** Responsable de las ventas, promoción, distribución y alianzas estratégicas.
- **Área Administrativa y Financiera:** Gestiona la contabilidad, legalidad, impuestos y sostenibilidad del negocio.

Perfiles de cargo y funciones.

Director Técnico y de Producción:

- Supervisar el diseño mecánico, electrónico y funcional de las baldosas piezoeléctricas.
- Coordinar la adquisición de materiales y la selección de proveedores.
- Liderar los procesos de ensamblaje, pruebas de resistencia, eficiencia y durabilidad.
- Implementar los protocolos de calidad durante y después del proceso productivo.
- Diseñar mejoras constantes en el producto basado en pruebas de campo y retroalimentación.

Director Comercial y de Mercadeo (Socio B)

- Crear estrategias de posicionamiento, publicidad y ventas.

- Establecer relaciones con entidades del sector público y privado (alcaldías, constructoras, universidades).
- Desarrollar materiales promocionales, presentaciones, catálogo de productos y participación en ferias.
- Estudiar el mercado nacional e internacional para identificar oportunidades de crecimiento.
- Coordinar el diseño del empaque y la logística de distribución.

Director Administrativo y Financiero:

- Gestionar los registros contables y cumplimiento de obligaciones fiscales ante la DIAN.
- Coordinar el proceso de formalización legal: Cámara de Comercio, RUT, facturación, etc.
- Controlar el presupuesto, flujo de caja y análisis de rentabilidad.
- Contratar personal externo (contadores, ingenieros, operarios).
- Tramitar licencias, seguros, registros de marca, certificaciones técnicas y ambientales.

Sistema de contraprestación.

Dado que se trata de una empresa en fase de arranque, el sistema de compensación se establece de forma mixta y progresiva:

Honorarios mensuales:

Cada socio recibe un pago simbólico mensual como prestación de servicios, estimado en **\$2.000.000 COP**, sujeto a disponibilidad financiera.

Seguridad social individual:

Cada socio debe cotizar como independiente:

-Salud: \$320.000 COP

-Pensión: \$400.000 COP

-ARL (Riesgo I): \$25.000 COP

Total, mensual por socio: ~\$745.000 COP

Distribución de utilidades:

Se realiza una vez al año, de acuerdo con las utilidades líquidas disponibles, repartidas en partes iguales (33,33%).

Bonificaciones futuras (variable):

Podrían establecerse bonificaciones por cumplimiento de objetivos técnicos, comerciales o de expansión.

Este sistema favorece la sostenibilidad del emprendimiento y garantiza la equidad entre socios mientras se consolida el flujo de ingresos.

Forma jurídica y régimen tributario.

Forma Jurídica: S.A.S. (Sociedad por Acciones Simplificada)

-Responsabilidad limitada al capital aportado.

-Flexibilidad en la redacción de estatutos y en la toma de decisiones.

-Permite contratar con el Estado y recibir inversión privada o extranjera.

-No requiere junta directiva obligatoria.

Registro en la DIAN

Una vez creada la empresa en Cámara de Comercio, se debe realizar la **inscripción en el Registro Único Tributario (RUT)**, especificando la actividad económica (por ejemplo, fabricación de productos electrónicos, CIIU 2790).

Régimen Tributario: Ordinario

La empresa se acoge al **régimen ordinario de renta** debido a que proyecta ingresos superiores al umbral del Régimen Simple (\$133.014.000 COP en 2024).

Impuesto de renta: 35% sobre las utilidades netas.

IVA: 19% sobre productos gravados. Puede solicitar exención si el producto es considerado innovación verde.

Retenciones en la fuente: Aplicables en pagos a proveedores y servicios profesionales.

ICA: Entre 0.2% y 1% del ingreso bruto, según ciudad y actividad.

Proceso de formalización y gastos asociados.

1.Registro como S.A.S. ante Cámara de Comercio

-Redacción y firma de estatutos sociales.

-Inscripción del nombre comercial.

-Pago de derechos de registro y matrícula mercantil.

-Costo aproximado: \$600.000 COP – \$800.000 COP

2.Inscripción ante la DIAN y obtención del RUT

-Obligatorio para emitir facturas, declarar impuestos y acceder a beneficios tributarios.

-Costo: Gratuito.

3.Facturación electrónica

-Obligatoria desde el primer mes de operación.

-Puede usarse el software gratuito de la DIAN o uno privado.

-Costo mensual estimado con proveedor externo: \$50.000 – \$120.000 COP

4.Afiliación a seguridad social (como independientes)

-Cada socio debe estar afiliado como cotizante independiente.

-Costo mensual por socio: ~\$451.000 COP

5-Contratación de contador profesional:

-Para elaboración de estados financieros, declaraciones, libros contables, medios magnéticos.

-Honorarios mensuales: \$500.000 – \$800.000 COP

6.Otros registros opcionales:

-Registro de marca ante la SIC: \$1.100.000 COP

-Certificaciones ambientales, NTC o RETIE: entre \$500.000 y \$3.000.000 COP (según requisitos del cliente o entidad contratante).

Plan financiero

Plan de inversión en activos fijos y capital de trabajo

Para poner en marcha ha Floor Energy, se requiere de una inversión inicial relativamente considerable, siendo esta fundamental para asegurar que todas las fases del proyecto desde la concepción técnica hasta la validación del producto final se desarrollen con altos estándares de calidad y eficiencia.

Dentro de los rubros más relevantes, destacan dos elementos clave la adquisición de equipos y la habilitación de un espacio físico adecuado para el montaje de la planta de producción, estos componentes son esenciales no solo para llevar a cabo el ensamblaje y pruebas del sistema piezoeléctrico, sino también para garantizar un entorno de trabajo seguro, organizado y funcional tanto para el equipo técnico como para las labores administrativas del proyecto.

El total de inversión de los activos fijos corresponde a \$6.765.000 COP dentro de los cuales se comprende la adquisición de equipos y amueblamiento de la bodega, para desarrollar las actividades tanto administrativas como operativas de floor energy (diseño, ensamblaje, pruebas de rendimiento y embalaje)

Tabla 13 Activos fijos

Ítem	Valor COP
computador	\$350.0000
escritorio	\$400.000
Impresora	\$800.000
Ruteador de banco	\$940.000
Estación de soldadura	\$375.000
Sierra de banco	\$750.000
Valor total gastos fijos	\$6.765.000

Fuente: Elaboración propia, 2025

Por otra parte, el capital de trabajo destinado para el arrendamiento, cubrir los servicios publico básicos y establecer la nómina para el primer mes equivale a \$9.444.000 COP.

Tabla 14 Costos fijos

Ítem	Valor COP
Arriendo	\$1.300.000
Servicios	\$584.000

Nomina	\$756.0000
Valor total	\$9.444.000

Fuente: Elaboración propia, 2025

Inversión total para el primer mes

Los rubros de la inversión inicial para poner en funcionamiento a floor energy, se distribuyen de la siguiente manera; teniendo en cuenta que para el primer año se espera producir un total de 4000 baldosas con un incremento anual del 15%.

Tabla 15 Inversión inicial

Ítem	Valor COP
Gastos fijos	\$6.765.000
Nomina	\$756.000
Arriendo + Servicios	\$1.884.000
Valor total (Anual)	\$120.093.000

Fuente: Elaboración propia, 2025

Proyección de ingresos y egresos

Los ingresos y egresos de floor energy se desarrollan en base a una proyección de cinco años, con base en de un incremento anual de unidades producidas y vendidas del 15%, con precio de venta de \$100.929 COP por unidad. Con un inventario al final de cada año como porcentaje (5%) de las unidades vendidas. Mientras que por otra parte los egresos se reflejan en los pagos del préstamo realizados a las correspondientes entidades financieras y al descuento mensual de los gastos fijos y presupuesto de comunicación, resultando en un total de \$28.933.000.

Tabla 16 Proyección de ventas

Año	Unidades vendidas	Precio unitario COP	Ingresos COP
1	4000	\$100.929	\$403.716.000
2	4600	\$100.929	\$464.273.400
3	5290	\$100.929	\$533.914.410
4	6084	\$100.929	\$614.052.036
5	6997	\$100.929	\$706.200.213

Fuente: Elaboración propia,2025

Punto de equilibrio y margen de distribución

Punto de Equilibrio

Teniendo en cuenta los costos fijos anuales, el precio unitario y el costo variable unitario se obtiene

Precio de venta (unidad) (\$)	\$ 167.705
APU: Costo variable (unitario) (\$)	\$ 100.929
Gastos fijos anuales (\$)	\$ 277.728.000

Punto de equilibrio = Costos fijos anuales / Precio de venta (unidad)- Costo variable unitario (APU)

Punto de equilibrio = se requiere vender 4.159 Baldosas para recuperar la inversión,

Punto de equilibrio en pesos = $4.159 \times 167.705 = 697.502.072$ millones

Tiempo para llegar al punto de equilibrio:

Ventas Primer Año (Unidades)	4.000
Ventas del punto de equilibrio	4159

Realizando regla de 3 simple obtenemos que se requiere **13.86** meses para recuperar la inversión,

Se obtiene entonces que, el margen de contribución por unidad es de \$66.776 (\$167.705 - \$100.929), lo que indica que cada venta contribuye significativamente a cubrir los costos fijos, sin embargo, el hecho de que las ventas del primer año no superen el punto de equilibrio sugiere que

el proyecto podría tener dificultades para ser rentable en el corto plazo si no se aumentan las ventas o reducen costos.

Estados financieros proyectados, estado de resultados, flujo de caja y balance general.

Estado de resultados

Durante el primer año, el proyecto arroja números negativos, con una pérdida de 11.2 millones de pesos, ya que las ventas de 4,000 unidades del primer año no logran cubrir los costos fijos y tampoco alcanzar el punto de equilibrio, situado en 4,159 unidades. No obstante, a partir del segundo año, la situación se revierte y se empiezan a generar ganancias, que aumentan constantemente hasta alcanzar los 119.4 millones de pesos en el quinto año, como lo deja ver la siguiente tabla

Tabla 17 Estado de resultados proyectado

Año	1	2	3	4	5
Utilidades Por Distribuir	-\$ 11.223.025	\$ 14.855.471	\$ 44.890.226	\$ 79.506.174	\$ 119.377.550

Fuente: Elaboración propia, 2025

Esto sugiere que, si bien el comienzo es complicado debido a los elevados costos fijos, el incremento en las ventas asegura la rentabilidad a mediano plazo, se observa un margen bruto favorable y una disminución gradual de los gastos financieros, se estima que la inversión inicial se recuperará aproximadamente en el mes 14, tal como se había previsto.

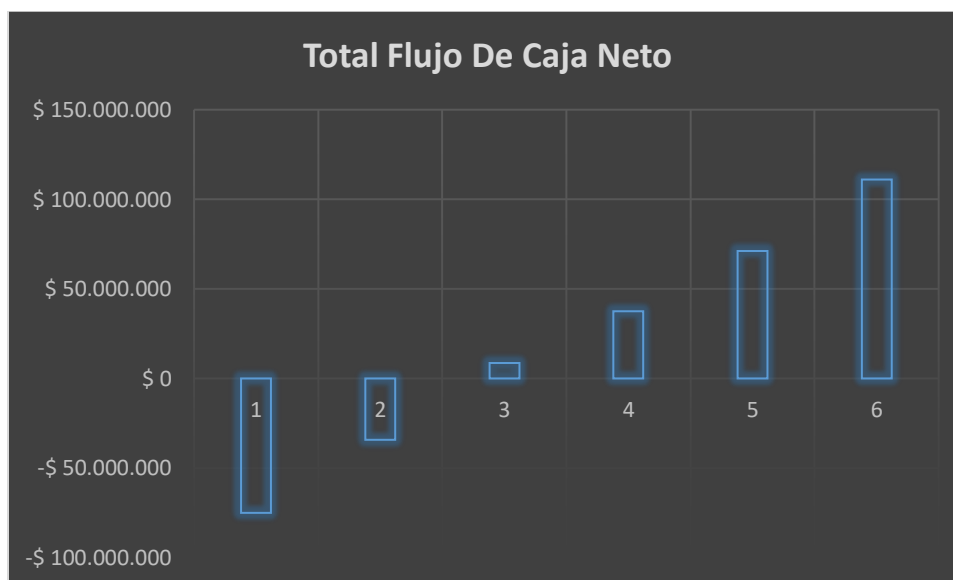
Flujo de caja

Tabla 18 Flujo de caja proyectado

AÑO	0	1	2	3	4	5
Flujo De Caja Neto	-\$ 75.000.000	-\$ 34.357.205	\$ 8.537.396	\$ 37.605.499	\$ 71.202.083	\$ 110.907.613

Fuente elaboración propia, 2025

Ilustración 34 Proyección grafica



El análisis financiero que se hace en la matriz de Floor Energy S.A.S es que el Valor Presente Neto (VPN) calculado es de \$10.191.526, lo que indica que el proyecto generará valor a futuros periodos. Los flujos de caja nos muestran que en el 4 año el punto de equilibrio financiero sanará y ya será una utilidad más alta para la empresa,

Balance general

Tabla 19 Balance general proyectado

BALANCE GENERAL						
<i>Año</i>	0	1	2	3	4	5
<i>TOTAL, ACTIVO CORRIENTE</i>	\$ 46.067.000	\$ 31.895.577	\$ 43.460.840	\$ 84.598.851	\$ 159.737.161	\$ 273.934.504
<i>TOTAL, ACTIVO FIJO</i>	\$ 6.765.000	\$ 5.682.600	\$ 4.600.200	\$ 3.517.800	\$ 2.435.400	\$ 1.353.000
<i>TOTAL, ACTIVO</i>	\$ 52.832.000	\$ 59.746.177	\$ 70.229.040	\$ 110.284.651	\$ 184.340.561	\$ 297.455.504
<i>TOTAL, PASIVO CORRIENTE</i>	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
<i>TOTAL, PASIVO</i>	\$ 30.000.000	\$ 26.198.244	\$ 21.522.463	\$ 15.771.721	\$ 8.698.883	\$ 0
<i>TOTAL, PATRIMONIO</i>	\$ 45.000.000	\$ 33.547.933	\$ 48.706.577	\$ 94.512.930	\$ 175.641.678	\$ 297.455.504
<i>TOTAL, PASIVO Y PATRIMONIO</i>	\$ 75.000.000	\$ 59.746.177	\$ 70.229.040	\$ 110.284.651	\$ 184.340.561	\$ 297.455.504
<i>CIERRE BALANCE</i>		\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0

Fuente: Elaboración propia, 2025

El estado de situación financiera revela una expansión importante del capital contable, que se eleva desde \$45 millones en el año inicial hasta \$297.5 millones al quinto año, manifestando una capitalización de las ganancias no distribuidas. Los activos líquidos crecen de manera notable, señal de una adecuada disponibilidad de efectivo, no hay obligaciones a corto plazo, y las deudas a largo plazo se van amortizando paulatinamente hasta quedar saldadas en el quinto año, la gestión económica es prudente y se tiene un nivel de riesgo reducido, la configuración económica es robusta, mostrando un incremento continuo en el valor neto de la compañía, sostenido por los beneficios obtenidos.

Indicadores financieros, VAN, TIR, Tiempo de recuperación de la inversión, nivel de endeudamiento, razón corriente y razón de liquidez.

El **VPN de 10.191.526** representa solo el 0.35% de los ingresos totales, indicando una rentabilidad justa por encima del umbral.

La **TIR del 20.89%**, aunque superior al costo de capital, está en el límite inferior de lo considerado óptimo para proyectos de inversión, esto apoyado con la TIO que se espera fuese del 22%, sin embargo, está por encima de otras opciones de inversión como CDTs

Tiempo de recuperación de la inversión, se estima que entre el año 2 y 3 se recupere la inversión y los flujos serán positivos pasando el año 3.

Nivel de endeudamiento es moderado, gracias a que la deuda es menor al aporte de los socios, esto representa una ventaja ya que el proyecto no depende en su mayoría de la deuda, por otro lado, si representa un riesgo para el patrimonio si no se cumplen los flujos proyectados.

Supuestos financieros para la proyección: Régimen de impuestos, tasa de amortización de los créditos, periodo de gracia, TIO, Tipo de proyección constante o corriente.

Régimen de Impuestos Se aplica un impuesto de renta del 35% sobre la utilidad

La Tasa de amortización del crédito es del **22.99** efectivo anual, con lo cual el préstamo se representa de la siguiente forma:

Tabla 20 Amortización del préstamo bancario

	DICIEMBRE AÑO 1	DICIEMBRE AÑO 2	DICIEMBRE AÑO 3	DICIEMBRE AÑO 4	DICIEMBRE AÑO 5
SALDO INICIAL	26.545.959	21.950.119	16.297.694	9.345.778	795.616
CUOTA PERIÓDICA	809.455	809.455	809.455	809.455	809.455
INTERESES	461.739	381.799	283.481	162.560	13.839
APORTE A CAPITAL	347.716	427.655	525.973	646.895	795.616
SALDO DEUDA	26.198.244	21.522.463	15.771.721	8.698.883	0
SEGUROS	123.000	123.000	123.000	123.000	123.000

Fuente: Elaboración propia, 2025

El periodo de gracia, no aplica para el proyecto, debido a que el pago de obligaciones inicia desde el año uno proyectado.

La TIO para el proyecto es del 22%, representado en que es de mediano riesgo y además el producto está en constante desarrollo, la tasa está por encima de otros proyectos de inversión como los CDTs

Tipo de proyección constante, debido a que no se tuvo en cuenta la inflación, tan solo los precios de las cantidades reales de bienes producidos o consumidos.

Conclusiones

El proyecto de baldosas piezoeléctricas Floor Energy S.A.S. representa una iniciativa técnicamente sólida que integra innovación tecnológica con sostenibilidad ambiental. La propuesta demuestra viabilidad técnica a través de especificaciones detalladas del sensor piezoeléctrico PZT con capacidad de 10mW por pisada y sistema electrónico robusto para gestión energética. La estructura

multicapa diseñada con materiales como MDF, Yumbolon y PVC proporciona durabilidad mecánica con resistencia de 300kg y vida útil proyectada de 5 años.

La metodología de producción estructurada en cinco etapas garantiza control de calidad integral, desde especificaciones técnicas hasta pruebas finales de resistencia y funcionalidad. La capacidad productiva inicial de 150-200 unidades mensuales establece una base sólida para penetración gradual del mercado, especialmente en edificaciones comerciales de alto tráfico.

La aplicabilidad del producto en centros comerciales, oficinas corporativas y espacios públicos se alinea con tendencias globales hacia edificaciones sostenibles y ciudades inteligentes. La tecnología contribuye a la reducción de dependencia de fuentes energéticas convencionales mientras mantiene compatibilidad con estándares arquitectónicos modernos.

El proyecto presenta oportunidades significativas para expansión comercial, particularmente considerando la creciente demanda de soluciones energéticas renovables en el sector construcción. La implementación de pruebas piloto en el planetario permitirá validación en condiciones reales de alto flujo peatonal, generando datos valiosos para optimización del producto y estrategias de comercialización

Los ensayos realizados sobre el sistema de baldosas piezoeléctricas demuestran el rigor técnico y la solidez funcional del prototipo desarrollado. Cada prueba ha contribuido de manera específica a validar distintos aspectos críticos del producto, asegurando no solo su eficiencia en la generación de energía, sino también su viabilidad en condiciones reales de uso.

El ensayo de generación de energía permitió confirmar la capacidad del sistema para transformar la energía mecánica en energía eléctrica, con resultados que evidencian un aumento progresivo de voltaje por cada pisada y un potencial energético significativo en escenarios de alto tránsito. Asimismo, el ensayo de durabilidad demostró la resistencia del sistema frente al uso continuo, evidenciando su aplicabilidad en espacios públicos y de alta circulación.

Por otro lado, el ensayo de resistencia mecánica validó los límites estructurales de los materiales y sensores utilizados, permitiendo definir configuraciones más robustas mediante el uso de elementos como el Yumbolon, que protege los componentes sensibles sin comprometer la eficiencia energética. El ensayo de eficiencia con circuitos demostró la integración efectiva del sistema con dispositivos de almacenamiento y consumo energético, garantizando una operatividad práctica y confiable. Finalmente, el ensayo de compatibilidad con materiales de acabado confirmó la adaptabilidad del producto a diversas estéticas arquitectónicas, sin afectar su desempeño técnico.

El análisis económico del proyecto evidencia su factibilidad financiera, reflejada en un precio de venta unitario de 167.705 pesos, que incorpora un margen de utilidad del 25%, permitiendo cubrir los costos directos e indirectos y garantizar rentabilidad. Con una proyección de crecimiento del 15% anual en producción y ventas, junto con una política de inventario

controlada y un gasto fijo estable, se consolida un modelo sostenible con potencial de escalabilidad en el mercado colombiano e internacional.

Se identificaron materiales como cerámicas PZT (circonato de titanato de plomo) y polímeros flexibles (PVDF) como los más adecuados por su alto coeficiente piezoeléctrico y resistencia al desgaste. Su integración en pisos de edificaciones nuevas requiere diseños que equilibren eficiencia energética, durabilidad y seguridad estructural.

La revisión bibliográfica confirmó que, aunque existen prototipos exitosos de pisos piezoeléctricos en entornos controlados (ej. estaciones de metro), su escalabilidad en edificaciones convencionales enfrenta desafíos técnicos y económicos. Las metodologías más recurrentes incluyen arreglos de módulos interconectados y sistemas de almacenamiento de energía, el proyecto de baldosas piezoeléctricas Floor Energy S.A.S. representa una iniciativa técnicamente sólida que integra innovación tecnológica con sostenibilidad ambiental. La propuesta demuestra viabilidad técnica a través de especificaciones detalladas del sensor piezoeléctrico PZT con capacidad de 10mW por pisada y sistema electrónico robusto para gestión energética. La estructura multicapa diseñada con materiales como MDF, Yumbolon y PVC proporciona durabilidad mecánica con resistencia de 300kg y vida útil proyectada de 5 años.

La metodología de producción estructurada en cinco etapas garantiza control de calidad integral, desde especificaciones técnicas hasta pruebas finales de resistencia y funcionalidad. La capacidad productiva inicial de 150-200 unidades mensuales establece una base sólida para penetración gradual del mercado, especialmente en edificaciones comerciales de alto tráfico.

La aplicabilidad del producto en centros comerciales, oficinas corporativas y espacios públicos se alinea con tendencias globales hacia edificaciones sostenibles y ciudades inteligentes. La tecnología contribuye a la reducción de dependencia de fuentes energéticas convencionales mientras mantiene compatibilidad con estándares arquitectónicos modernos.

El proyecto presenta oportunidades significativas para expansión comercial, particularmente considerando la creciente demanda de soluciones energéticas renovables en el sector construcción, la implementación de pruebas piloto en el planetario permitirá validación en condiciones reales de alto flujo peatonal, generando datos valiosos para optimización del producto y estrategias de comercialización.

Marco terminológico

Baldosa Piezoeléctrica

Dispositivo compuesto por materiales con propiedades piezoeléctricas que generan energía eléctrica al ser sometidos a presión mecánica, como caminar sobre ellas. Su principal uso es recolectar energía renovable en espacios urbanos y edificaciones sostenibles.

Piezolectricidad

Propiedad de ciertos materiales para generar una carga eléctrica cuando se someten a estrés mecánico, como compresión o vibración. Este fenómeno es la base del funcionamiento de las baldosas para convertir energía mecánica en eléctrica.

Construcción Sostenible

Práctica de diseño, edificación y operación de construcciones que minimizan el impacto ambiental, optimizan el uso de recursos naturales y priorizan la eficiencia energética y el bienestar humano.

Sensor Piezoeléctrico

Componente que aprovecha el efecto piezoeléctrico para generar electricidad. En las baldosas, estos sensores son fundamentales para convertir la energía del movimiento en corriente eléctrica utilizable.

Energías Renovables

Fuentes de energía que se obtienen de recursos naturales inagotables, como la luz solar, el viento o el movimiento, y que son clave para reducir la dependencia de combustibles fósiles.

Neopreno

Material elastomérico utilizado en la baldosa como elemento de transición entre capas. Su función es facilitar el movimiento mecánico necesario para activar los sensores piezoeléctricos.

Cuarzo

Mineral piezoeléctrico natural utilizado por su estabilidad y capacidad de generar voltaje bajo presión. Es uno de los materiales base en dispositivos piezoeléctricos.

Turmalina

Cristal que exhibe propiedades piezoeléctricas y piroeléctricas, permitiendo aplicaciones en sensores y recolección de energía a pequeña escala.

Rubidio

Elemento químico alcalino utilizado en compuestos sintéticos piezoeléctricos por su alta sensibilidad y capacidad de generar electricidad bajo estímulos mecánicos.

Eficiencia Energética

Relación entre la energía generada o utilizada en un sistema y la cantidad de energía consumida. En este proyecto, se refiere a la capacidad de las baldosas de convertir movimiento en electricidad con mínima pérdida.

Durabilidad

Capacidad de un material o dispositivo para resistir el desgaste y mantener su funcionalidad a lo largo del tiempo. Las baldosas piezoeléctricas están diseñadas para soportar uso continuo en entornos de alto tráfico.

Ensayos de Laboratorio

Pruebas experimentales realizadas para evaluar el desempeño, resistencia y eficiencia de las baldosas piezoeléctricas en condiciones controladas.

Energías No Convencionales

Fuentes de energía alternativas a los combustibles fósiles, como la piezoelectricidad, que buscan minimizar el impacto ambiental.

Innovación Tecnológica

Proceso de desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías para resolver problemas existentes. En este caso, las baldosas piezoeléctricas representan una innovación para recolectar energía de fuentes no convencionales.

Materiales Ferroeléctricos

Compuestos con una estructura cristalina que permite una polarización eléctrica espontánea. Ejemplos: titanatos como el PZT (plomo zirconato titanio), empleados en dispositivos piezoeléctricos por su alta eficiencia.

Sistema de Almacenamiento Energético

Dispositivo o conjunto de dispositivos diseñados para retener y liberar energía según sea necesario. En las baldosas piezoeléctricas, puede incluir baterías o condensadores.

Aplicaciones Urbanas

Usos funcionales dentro del entorno urbano, como iluminación pública o carga de dispositivos, donde las baldosas piezoeléctricas aprovechan el tránsito peatonal para generar energía.

Análisis Costo-Beneficio

Método para evaluar la viabilidad económica de un proyecto, comparando los costos totales (materiales, mano de obra, mantenimiento) con los beneficios potenciales (ahorro energético, impacto ambiental).

Acabados Arquitectónicos

Elementos finales aplicados en una estructura o producto para mejorar su apariencia, durabilidad y funcionalidad. Las baldosas piezoeléctricas pueden incorporar acabados en madera, cerámica o PVC.

Ecosistemas Urbanos

Entorno natural y construido dentro de las ciudades. Las baldosas piezoeléctricas buscan integrarse sin alterar significativamente el equilibrio ambiental.

Sostenibilidad Energética

Capacidad de satisfacer las necesidades actuales de energía sin comprometer la disponibilidad futura, minimizando el impacto ambiental.

Carga Mecánica

Fuerza aplicada a un objeto o superficie. En las baldosas, esta carga activa los sensores piezoeléctricos para generar electricidad.

Puente de Diodos

Dispositivo eléctrico que convierte corriente alterna en corriente continua. Es una parte esencial del circuito de las baldosas piezoeléctricas.

Resiliencia Material

Capacidad de los materiales para resistir esfuerzos mecánicos y recuperar su forma original sin deformarse o fracturarse. Los materiales seleccionados para las baldosas, como el neopreno, destacan por esta propiedad.

Optimización Energética

Proceso de maximizar la eficiencia en la conversión, almacenamiento y uso de energía. En el contexto de las baldosas, implica mejorar el rendimiento piezoeléctrico.

Impacto Ambiental

Efecto que una actividad o producto tiene en el medio ambiente, ya sea positivo o negativo. La baldosa piezoeléctrica tiene como objetivo minimizar este impacto mediante el uso de tecnologías sostenibles.

Infraestructura Verde

Conjunto de soluciones tecnológicas y de diseño para integrar sostenibilidad en proyectos urbanos. Las baldosas piezoeléctricas forman parte de estas estrategias.

Tráfico Peatonal

Movimiento de personas sobre una superficie específica. Este tránsito es la fuente principal de carga mecánica que las baldosas convierten en energía.

Energía Cinética

Energía que un objeto posee debido a su movimiento. En el caso de las baldosas piezoeléctricas, esta energía es transformada en electricidad cuando los peatones caminan sobre ellas.

Eficiencia de Conversión Energética

Proporción de la energía mecánica transformada en energía eléctrica útil. Es un parámetro clave para evaluar el desempeño de las baldosas piezoeléctricas.

Condensador

Componente eléctrico que almacena energía en un campo electrostático. En el sistema de las baldosas, se utiliza para acumular la carga generada y distribuirla según las necesidades.

Diseño Modular

Estrategia de construcción en la que los componentes son producidos en módulos independientes que se ensamblan para formar un sistema funcional. Las baldosas piezoeléctricas se pueden fabricar e instalar bajo este principio.

Reciclabilidad

Capacidad de los materiales para ser procesados y reutilizados al final de su vida útil. Es un aspecto importante en las baldosas para reducir el impacto ambiental.

Sistema Inteligente

Conjunto de dispositivos interconectados capaces de recopilar, analizar y actuar según datos en tiempo real. Las baldosas piezoeléctricas pueden integrarse con sistemas inteligentes para monitorear la generación y consumo de energía.

Elasticidad del Neopreno

Propiedad del neopreno que le permite deformarse bajo esfuerzo y recuperar su forma original, ideal para soportar las cargas mecánicas en las baldosas.

Estrategias de Mitigación Ambiental

Acciones destinadas a reducir el impacto negativo de un proyecto en el medio ambiente. La implementación de las baldosas busca ser parte de estas estrategias.

Micro generación

Producción de pequeñas cantidades de energía renovable para uso local. Las baldosas piezoeléctricas son un ejemplo de esta tecnología, generando energía a partir del tránsito peatonal.

Impacto en la Huella de Carbono

Medida de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con un producto o actividad. Las baldosas contribuyen a disminuir esta huella al generar energía limpia.

Potencial de Aplicación

Capacidad de un producto para adaptarse a diferentes usos y entornos. Las baldosas piezoeléctricas tienen potencial en plazas, estadios, aeropuertos, y otros lugares con alto tráfico.

Ley de Piezoelectricidad Directa

Principio físico que establece que ciertos materiales producen un campo eléctrico cuando se someten a una deformación mecánica. Es la base científica del funcionamiento de las baldosas.

Red de Energía Distribuida

Sistema descentralizado donde la energía se genera cerca de su punto de uso, como ocurre con las baldosas piezoeléctricas en espacios urbanos.

Marco terminológico en ingles

Piezoelectric Tile

A device made of materials with piezoelectric properties that generate electrical energy when subjected to mechanical pressure, such as walking on them. Its main use is to collect renewable energy in urban spaces and sustainable buildings.

Piezoelectricity

The property of certain materials to generate an electric charge when subjected to mechanical stress, such as compression or vibration. This phenomenon is the basis for the tiles' ability to convert mechanical energy into electricity.

Sustainable Construction

The practice of designing, building, and operating structures that minimize environmental impact, optimize natural resource use, and prioritize energy efficiency and human well-being.

Piezoelectric Sensor

A component that utilizes the piezoelectric effect to generate electricity. In the tiles, these sensors are essential for converting motion into usable electrical current.

Renewable Energy

Energy sources obtained from inexhaustible natural resources, such as sunlight, wind, or movement, that are key to reducing dependence on fossil fuels.

Quartz

A natural piezoelectric mineral valued for its stability and ability to generate voltage under pressure. It is one of the base materials in piezoelectric devices.

Tourmaline

A crystal exhibiting piezoelectric and pyroelectric properties, enabling its use in sensors and small-scale energy harvesting applications.

Rubidium

An alkali chemical element used in synthetic piezoelectric compounds due to its high sensitivity and ability to generate electricity under mechanical stimuli.

Energy Efficiency

The ratio between energy generated or used in a system and the amount of energy consumed. In this project, it refers to the tiles' ability to convert movement into electricity with minimal loss.

Durability

The ability of a material or device to resist wear and maintain its functionality over time. The piezoelectric tiles are designed to withstand continuous use in high-traffic areas.

Laboratory Testing

Experimental tests conducted to evaluate the performance, resistance, and efficiency of piezoelectric tiles under controlled conditions.

Non-Conventional Energies

Alternative energy sources to fossil fuels, such as piezoelectricity, aimed at minimizing environmental impact.

Technological Innovation

The process of developing and applying new technologies to solve existing problems. In this case, piezoelectric tiles represent an innovation for harvesting energy from non-conventional sources.

Ferroelectric Materials

Compounds with a crystalline structure that allows spontaneous electric polarization. Examples: titanates like PZT (lead zirconate titanate), used in piezoelectric devices for their high efficiency.

Energy Storage System

A device or set of devices designed to store and release energy as needed. In piezoelectric tiles, this may include batteries or capacitors.

Urban Applications

Functional uses within the urban environment, such as public lighting or device charging, where piezoelectric tiles harness pedestrian traffic to generate energy.

Cost-Benefit Analysis

A method to evaluate the economic feasibility of a project by comparing total costs (materials, labor, maintenance) with potential benefits (energy savings, environmental impact).

Architectural Finishes

Final elements applied to a structure or product to improve its appearance, durability, and functionality. Piezoelectric tiles can incorporate finishes such as wood, ceramic, or PVC.

Urban Ecosystems

The natural and built environment within cities. Piezoelectric tiles aim to integrate without significantly altering the environmental balance.

Energy Sustainability

The ability to meet current energy needs without compromising future availability, while minimizing environmental impact.

Mechanical Load

The force applied to an object or surface. In the tiles, this load activates the piezoelectric sensors to generate electricity.

Diode Bridge

An electrical device that converts alternating current (AC) into direct current (DC). It is an essential part of the piezoelectric tile circuit.

Material Resilience

The ability of materials to withstand mechanical stress and return to their original shape without deforming or breaking. Selected materials for the tiles, such as neoprene, are notable for this property.

Energy Optimization

The process of maximizing efficiency in energy conversion, storage, and use. In the context of the tiles, this involves enhancing piezoelectric performance.

Environmental Impact

The effect a product or activity has on the environment, whether positive or negative. The piezoelectric tile aims to minimize this impact through sustainable technologies.

Green Infrastructure

A set of technological and design solutions for integrating sustainability into urban projects. Piezoelectric tiles are part of these strategies.

Pedestrian Traffic

The movement of people over a specific surface. This traffic is the primary source of mechanical load that tiles convert into energy.

Kinetic Energy

The energy an object possesses due to its motion. In piezoelectric tiles, this energy is transformed into electricity when pedestrians walk over them.

Energy Conversion Efficiency

The proportion of mechanical energy converted into useful electrical energy. It is a key parameter for evaluating the performance of piezoelectric tiles.

Capacitor

An electrical component that stores energy in an electrostatic field. In the tile system, it is used to store the generated charge and distribute it as needed.

Modular Design

A construction strategy where components are produced as independent modules that are assembled to form a functional system. Piezoelectric tiles can be manufactured and installed using this principle.

Recyclability

The ability of materials to be processed and reused at the end of their useful life. This is an important aspect of the tiles to reduce environmental impact.

Smart System

A set of interconnected devices capable of collecting, analyzing, and acting on real-time data. Piezoelectric tiles can be integrated into smart systems to monitor energy generation and consumption.

Neoprene Elasticity

The property of neoprene that allows it to deform under stress and return to its original shape, making it ideal for withstanding mechanical loads in tiles.

Environmental Mitigation Strategies

Actions aimed at reducing a project's negative impact on the environment. The implementation of tiles is intended to be part of these strategies.

Microgeneration

The production of small amounts of renewable energy for local use. Piezoelectric tiles are an example of this technology, generating energy from pedestrian traffic.

Carbon Footprint Impact

A measure of greenhouse gas emissions associated with a product or activity. Tiles help reduce this footprint by generating clean energy.

Application Potential

A product's ability to adapt to different uses and environments. Piezoelectric tiles have potential in plazas, stadiums, airports, and other high-traffic locations.

Law of Direct Piezoelectricity

The physical principle stating that certain materials produce an electric field when subjected to mechanical deformation. This is the scientific foundation of tile operation.

Distributed Energy Network

A decentralized system where energy is generated close to the point of use, as is the case with piezoelectric tiles in urban spaces.

Referencias

- A. A. (s.f.). *Análisis de factibilidad económica y ambiental de utilizar baldosas piezoeléctricas en el campus de la Universidad Militar Nueva Granada*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2024, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/373702/tfg-menendez-adriana-arribalzaga-ainhoa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Adriana Menéndez Melé, & Ainhoa Arribalzaga Jové. (Junio de 2022). *Desarrollo de un prototipo de baldosa generadora de energía eléctrica a partir de la piezoelectricidad y almacenamiento de la energía producida*. Obtenido de PDF: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/373702/tfg-menendez-adriana-arribalzaga-ainhoa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Agatón, F. J. (S.f). *Pdf*. Obtenido de Análisis de la factibilidad económica y ambiental de utilizar

baldosas piezoeléctricas :

<https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/c4a344eb-f989-4614-ae2d-0fd725894215/content>

Alejano, S. M. (2018). *PDF*. Obtenido de Análisis de vigas con materiales piezoeléctricos :

<https://core.ac.uk/download/288499297.pdf>

ÁLVAREZ, L. M. (8 de 04 de 2017). <https://www.ecorfan.org/>. Obtenido de Aplicaciones de la

piezoelectricidad en Ingeniería Civil:

https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Civil/vol1num2/Revista_de_Ingenier%C3%ADa_Civil_V1_N2_4_3.pdf

Asociación ambiente y sociedad. (6 de 11 de 2015). *ambienteysociedad*. Obtenido de Energía y

agro, los que más contaminan en Colombia:

<https://www.ambienteysociedad.org.co/energia-y-agro-los-que-mas-contaminan-en-colombia/>

Barahona, J. F. (2021). Implementación de un prototipo funcional generador de energía eléctrica

a través de una baldosa con elementos piezoeléctricos. Universidad Católica de Colombia.

Obtenido de <https://hdl.handle.net/10983/26272>

Borda, O. J., & Mendoza , L. (2019). *PDF*. Obtenido de Modelo matemático de un generador

piezoeléctrico: <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/f45be69c-2290-4ec4-bf60-27604a54dc9e/content>

Carbajal, M. L. (11 de Abril de 2019). *Fenómeno piezoeléctrico*. Obtenido de Medica

Capacitación: <https://diplomadomedico.com/fenomeno-piezoeléctrico/#:~:text=Los%20hermanos%20Pierre%20y%20Jacques,el%20cuarzo%20y%20algunas%20cer%3%A1micas.>

Cifuentes, J. (2013). *Repositorio EIA*. Obtenido de Baldosa piezoeléctrica para alimentar sistemas

de iluminación de baja potencia: <https://www.perplexity.ai/search/esta-es-mi-investigacion-por-e-IvRuZeE.R8eR48E4iPtm3A?0=r>

Congreso nacional de Colombia. (2017). Decreto 926 de 2017. Obtenido de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=81936#:~:text=Es%20el%20documento%20que%20demuestra,neutralizar%20las%20emisiones%20de%20GEI.>

Coronel, R. R. (2020). Vigilancia tecnológica para determinar la factibilidad técnica, económica y

ambiental de implementar plataformas peatonales para la generación de energía eléctrica mediante sistemas piezoeléctricos. Colombia. Obtenido de <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/4831>

DPND. (2022). Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026.

Fernandez, J. (1993). *Materiales cerámicos ferroeléctricos y sus aplicaciones*. Obtenido de

Artículo de revisión: <https://boletines.secv.es/upload/199332005.pdf>

Francisco Javier Jiménez Martínez, J. d. (28 de 09 de 2015). *www.elsevier.es*. Obtenido de

Optimización de piezoeléctricos comerciales para su uso en sistemas de Energy

HarvestingPiezoelectric business optimization for use in energy systems harvesting:
file:///C:/Users/Edwin%20gonzales/Downloads/S0366317515000862.pdf

García, J. A. (2021). *Aplicación de la tecnología piezoeléctrica en la generación de energía: Una revisión*. Obtenido de Revista Iberoamericana de Energía: http://www.revistaiberoenergia.org/revision_tecnologia_piezoelctrica

Geographic, N. (2012). *Unas baldosas generan energía con nuestras pisadas. Medio Ambiente*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2024, de <https://www.nationalgeographicla.com/search?q=unas+baldosas+generan+energ%C3%A9a+con+nuestras+pisadas.+medio+ambiente>.

González, S. C. (2019). *Universidad Santo Tomás*. Obtenido de Plan de negocios de baldosas piezoeléctricas como fuente de energía alternativa en la ciudad de villavicencio para la empresa Step Energy: <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/e2b6ae9e-e019-4f3f-8e67-051e2625f890/content>

Gutierrez, A. (2016). . *Proyecto de baldosa piezoeléctrica*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2024, de Universidad Politécnica de Guanajuato: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/6ed94839-d67e-4460-b760-5666c392f34d/content>

Jiménez Rubio, F. A. (2018). *Análisis del estado actual de la tecnología Energy Harvesting (Recolectores de energía) basados en piezoelectricidad*. Obtenido de PDF: <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/c51e1eea-1028-47a4-bbb3-77e526f7a494/content>

- Juliana Contreras, A. M. (2016). Análisis de conveniencia de la implementación de la energía piezoeléctrica en las salas de Cine Colombia en la ciudad de Bogotá D.C. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/4244>
- Kistler. (2019). Cuarzos electricos. Obtenido de <https://www.kistler.com/ES/es/efecto-piezoelctrico/C00000136>
- Laia. (2 de abril de 2024). *Minimizando el impacto ambiental e impulsando la valorización de los residuos metálicos*. Obtenido de Picvisa: <https://picvisa.com/es/reciclaje-residuos-metalicos-flakes-europa/#:~:text=Los%20residuos%20met%C3%A1licos%2C%20especialmente%20cuando,como%20a%20la%20salud%20humana>.
- LOCOEX. (8 de noviembre de 2023). *¿Qué es la logística de distribución? Objetivos, canales y estrategias*. Obtenido de Logística y Transporte en Madrid Sur | ASCOEL - LOCOEX: <https://logisticaascoel.com/que-es-la-logistica-de-distribucion-objetivos-canales-y-estrategias/>
- López, A. (2 de Septiembre de 2024). *Cuerva**. Obtenido de Ventajas de usar energías renovables en la construcción.: <https://cuervaenergia.com/es/comunidad/sostenibilidad/energias-renovables-en-la-construccion/>
- Lopez, F. (2019). *Impacto ambiental de la extracción de minerales y su relación con la biodiversidad*. Obtenido de Revista de Ciencias Ambientales: <https://geoinnova.org/blog-territorio/mineria-cielo-abierto-impactos/>

- López, F. M. (2019). *Impacto ambiental de la extracción de minerales y su relación con la biodiversidad*. Obtenido de https://www.revista-cienciasambientales.org/extraccion_minerales_biodiversidad
- López, M. M. (2024). *Beonloop*. Obtenido de Piezoeléctricidad: transforma tus pasos en energía eléctrica: <https://www.beonloop.com/piezolectricidad-transforma-tus-pasos-en-energia-electrica/>
- Manufact china. (2023). Zirconato de plomo. Obtenido de https://es.made-in-china.com/co_pulisonic/product_Lead-Zirconate-Titanate-Piezoelectric-Material-P8-Ring-Piezo-Ceramics-40mm-for-Cleaner-Sensor_uoirryoeyg.html
- Melé, A. M. (Junio de 2022). *Escola Tècnica Superior d'Enginyeria industrial de Barcelona*. Obtenido de Desarrollo de un prototipo de baldosa generadora de energía eléctrica a partir de la piezoeléctricidad y almacenamiento de la energía producida: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/373702/tfg-menendez-adriana-arribalzaga-ainhoa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Merino, R. B. (2012). *MÁSTER EN QUÍMICA DE MATERIALES*. Obtenido de SÍNTESIS DIRIGIDA A LA MEJORA DE LAS: https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/65432/1/TFM_QMA_RBeato.pdf
- Metal Laser INC. (2024). Cristales piezoelectricos. Obtenido de <https://es.meta-laser.com/piezoelectric-crystals/linbo3-piezoelectric-crystals.html>

Mianyang. (2022). Transdvttores polimericos. Obtenido de <http://www.myprochema.com/pvdf-piezoelectric-films.htm>

Ministerio de minas y energia . (6 de Febrero de 2023). *www.minenergia.gov.co*. Obtenido de BID aprobó US\$70 millones para respaldar la iniciativa de transición energética en Colombia: <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/bid-aprob%C3%B3-us70-millones-para-respaldar-la-iniciativa-de-transici%C3%B3n-energ%C3%A9tica-en-colombia/>

NCYT. (20 de Agosto de 2024). Obtenido de Noticias de la ciencia.

Nova, S. D. (Julio-Septiembre de 2021). *PDF*. Obtenido de Máquina caracterizadora de materiales piezoeléctricos: [https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/3132/M%C3%A1quina%20caracterizadora%20de%20materiales%20piezoel%C3%A9ctricos.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20piezoelectricidad%20\(del%20griego%20antiguo,cargas%20el%C3%A9ctricas%20en%20su%](https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/3132/M%C3%A1quina%20caracterizadora%20de%20materiales%20piezoel%C3%A9ctricos.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20piezoelectricidad%20(del%20griego%20antiguo,cargas%20el%C3%A9ctricas%20en%20su%20)

Núñez., E. H. (2022). Factibilidad de central eléctrica en base a baldosas piezoeléctricas para iluminación de una plaza de armas. Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/103479>

Picvisa. (2024). *Picvisa*. Obtenido de <https://picvisa.com/es/reciclaje-residuos-metalicos-flakes-europa/>

- PROCOLOMBIA. (2023). *https://investincolombia.com.co/*. Obtenido de ENERGÍA RENOVABLE: <https://investincolombia.com.co/es/sectores/energia/energia-renovable>
- Punzano, E. (2022). Proyecto de diseño de un sistema de baldosas piezoeléctricas en un gran centro comercial. España. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2117/372449>
- Repsol. (2023). *Energía piezoeléctrica: Una solución innovadora para la sostenibilidad*. Obtenido de <https://www.repsol.com/es/innovacion/tecnologia-piezo-electrica-sostenibilidad>
- Rojas, M. E. (2023). Diseño de investigación para la evaluación del impacto del uso de baldosas piezoeléctricas para el aumento de generación de energía eléctrica en edificios autoprodutores con tecnología fotovoltaica. Guatemala.
- Rubio, F. A. (2018). *Análisis del estado actual de la tecnología Energy Harvesting*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/c51e1eea-1028-47a4-bbb3-77e526f7a494/content>
- Sergio Torres, J. R. (Noviembre de 2021). Proyecto de empresa y producto: Energiebodem Ltda. Obtenido de <https://repositorio.unicolmayor.edu.co/handle/unicolmayor/6858>
- UPME. (2021). *Proyección de la demanda energética en Colombia 2021-2037*. Obtenido de Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Gobierno de Colombia.: https://www1.upme.gov.co/Demanda_Energetica_Colombia
- Vistronica. (2024). Obtenido de Sensores : <https://www.vistronica.com/sensores/sensor-piezo-electrico-41-mm-detail.html>

Wikipedia. (4 de Mayo de 2024). *Wikipedia*. Obtenido de

https://es.wikipedia.org/wiki/Cer%C3%A1mica_piezoel%C3%A9ctrica

Yorobotics. (2024). Buzzer Pasivo Piezoelectrico. Obtenido de

[https://yorobotics.co/producto/buzzer-pasivo-piezoelectrico-at3040-alta-frecuencia-1-](https://yorobotics.co/producto/buzzer-pasivo-piezoelectrico-at3040-alta-frecuencia-1-30v-dc/)

[30v-dc/](https://yorobotics.co/producto/buzzer-pasivo-piezoelectrico-at3040-alta-frecuencia-1-30v-dc/)