



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL USO DE
BALDOSAS PIEZOELÉTRICAS PARA EL AUMENTO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN EDIFICIOS AUTOPRODUCTORES CON TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA**

Manuel Eliseo Rojas Sicajá

Asesorado por Msc. Ingeniero Electricista Marcos Alberto González Miranda

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL USO DE
BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS PARA EL AUMENTO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN EDIFICIOS AUTOPRODUCTORES CON TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MANUEL ELISEO ROJAS SICAJÁ

ASESORADO POR EL Msc. INGENIERO ELECTRICISTA MARCOS ALBERTO
GONZÁLEZ MIRANDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ENERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva de los Ángeles
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL USO DE
BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS PARA EL AUMENTO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN EDIFICIOS AUTOPRODUCTORES CON TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 06 de agosto de 2022.

Manuel Eliseo Rojas Sicajá



EEPFI-PP-1619-2022

Guatemala, 7 de noviembre de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACION DEL IMPACTO DEL USO DE BALDOSAS PIEZOELECTRICAS PARA EL AUMENTO DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA EN EDIFICIOS AUTOPRODUCTORES CON TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Todas las áreas - Nuevas tecnologías para generación y transmisión de energía eléctrica**, presentado por el estudiante **Manuel Eliseo Rojas Sicajá** camé número **201314518**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACION DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Gestion De Mercados Electricos Regulados.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Marcos Alberto González Miranda
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 18817

Mtro. Marcos Alberto González Miranda
Asesor(a)

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-1385-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACION DEL IMPACTO DEL USO DE BALDOSAS PIEZOELECTRICAS PARA EL AUMENTO DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA EN EDIFICIOS AUTOPRODUCTORES CON TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA**, presentado por el estudiante universitario **Manuel Eliseo Rojas Sicajá**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Amando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, noviembre de 2022



LNG.DECANATO.OI.079.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL USO DE BALDOSAS PIEZOELECTRICAS PARA EL AUMENTO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EDIFICIOS AUTOPRODUCTORES CON TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA**, presentado por: **Manuel Eliseo Rojas Sicajá**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Mi padre

Por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida y ser una persona ejemplar a la que algún día aspiro llegar a ser.

Mi hermana

Quien, desde el cielo, me ha brindado inspiración y perseverancia en momentos de dificultad.

Mis primas

Iris Rojas, Susan Rojas y Rebeca Us, ya que con su esfuerzo trazaron una ruta en la cual decidí seguir.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios superior en la que tuve la oportunidad de forjarme como un profesional.
Facultad de Ingeniería	Por abrirme sus puertas dando acceso a conocimientos los cuales llevo con gran aprecio.
Mis amigos	Quienes me han acompañado a lo largo de esta aventura y espero que sigamos por más.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Contexto general	9
3.2. Descripción del problema	9
3.3. Formulación del problema	11
3.3.1. Pregunta central	11
3.3.2. Preguntas auxiliares	11
3.4. Delimitación del problema	12
3.4.1. Delimitación contextual	12
3.4.2. Delimitación geográfica	12
3.4.3. Delimitación histórica	12
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos	15

6.	NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17
7.	MARCO TEÓRICO	19
7.1.	Fuentes de energía eléctrica.....	19
7.1.1.	Fuentes de energía no renovables.....	19
7.1.2.	Fuentes de energía renovables.....	20
7.1.2.1.	Energía fotovoltaica.....	21
7.1.2.2.	Piezoelectricidad	21
7.2.	Mercado eléctrico en Guatemala	22
7.2.1.	Agentes del mercado mayorista	22
7.2.2.	Usuarios	22
7.2.3.	Usuario autoprodutor distribuido con excedentes de energía	23
8.	MARCO CONCEPTUAL	25
8.1.	Fenómeno piezoeléctrico	25
8.2.	Materiales piezoeléctricos	25
8.3.	Fenómeno fotovoltaico	25
8.4.	Partes de la generación fotovoltaica	26
8.4.1.	Estructuras	26
8.4.2.	Modulo fotovoltaico	26
8.4.3.	Banco de baterías	26
8.4.4.	Regulador de carga.....	27
8.4.5.	Inversor	27
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO	29
10.	METODOLOGÍA	33
10.1.	Características del estudio	33

10.1.1.	Enfoque	33
10.1.2.	Alcance	33
10.1.3.	Diseño	34
10.2.	Unidad de análisis	34
10.3.	Variables.....	34
10.4.	Fases del estudio	35
10.4.1.	Fase 1: recopilación bibliográfica.....	35
10.4.2.	Fase 2: diseño de baldoza piezoeléctrica y su presupuesto.....	36
10.4.3.	Fase 3: recopilación de datos y proyección	36
10.4.4.	Fase 4: informe de aumento de generación del usuario	37
10.4.5.	Fase 5: localización de sitios estratégicos	38
10.4.6.	Fase 6: evaluación del impacto de implementación de tecnología piezoeléctrica	38
10.5.	Resultados esperados	39
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	41
12.	CRONOGRAMA	43
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	45
14.	REFERENCIAS.....	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Árbol del problema	10
2.	Diagrama de Gantt.....	43

TABLAS

I.	Matriz de variables	35
II.	Matriz de indicadores	35
III.	Resultados esperados	39
IV.	Gastos del estudio	45

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
Dp	Densidad poblacional
f	Frecuencia
F	Faradios
k	Kilo
Lb	Libra
m	Mili
mt	Metro
Ps	Paso
Q	Quetzales
UACEE	Usuario autoprodutor con excedente de energía
W	Watt

GLOSARIO

AMM	Administrador del mercado mayorista.
Piezoeléctrico	Característica de un material capaz de reproducir el fenómeno piezoeléctrico.
Piezolectricidad	Electricidad generada a través del efecto piezoeléctrico.
UACEE	Usuario autoprodutor con excedente de energía.

RESUMEN

La presente investigación nace de la preocupación que se tiene a nivel internacional por los cambios que ha causado el cambio climático estos en gran medida han sido provocados del uso desmesurado de combustibles fósiles. Desde hace unas décadas esta preocupación ha resultado para el sector eléctrico, en el auge de las energías verdes como una alternativa a la dependencia de las fuentes de energía contaminantes.

Guatemala también se ha unido a la tendencia de las fuentes de energía renovables y en su territorio han tenido gran aceptación las tecnologías hidroeléctricas, eólica y solar. En la legislación guatemalteca un usuario final puede aportar energía si en sus instalaciones cuenta con una fuente de energía renovable estos usuarios son conocidos como: Usuarios autorproductores con excedentes de energía. Para los usuarios finales ha contado con gran popularidad la energía fotovoltaica por la relativa facilidad de instalación.

Por lo anterior se ha tenido interés en los usuarios autoproducidos con energía fotovoltaica instalada. Se pretende evaluar el impacto que tendrían baldosas piezoeléctricas en la generación eléctrica que puede llegar a tener un edificio hipotético autoproducido con excedentes de energía. Se evaluarán distintos escenarios poblacionales y así al final de la investigación se podrá determinar si es viable considerar la instalación de baldosas piezoeléctricas para el aumento de generación en este tipo de usuarios.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se tiene la preocupación acerca de los efectos que provocará el calentamiento climático esto derivado de la irresponsabilidad que ha tenido la humanidad a lo largo de los años en la administración de los recursos que se encontraban en la tierra. Acciones como la deforestación, el uso de carbón y combustibles fósiles siendo estos últimos de los más perjudiciales en incremento de gases de efecto invernadero esto provoco el auge ya unas décadas atrás, de la utilización de energías renovables para la generación de electricidad usando tecnologías que por sí solas generan una cantidad considerable de potencia para la matriz energética donde se encuentren instaladas.

Siguiendo la tendencia de la cultura de energías limpias se han encontrado maneras de generación de energía por métodos no convencionales aprovechando efectos físicos como lo puede ser el efecto piezoeléctrico, el protagonista en esta investigación, el efecto consiste en presionar y provocar una deformación a un elemento de cristal y este en respuesta tendrá movimientos en los electrones que lo conforman, el uso de estos elementos ha dado lugar a investigaciones donde se configuran elementos piezoeléctricos para aplicaciones de baja potencia como puede ser activaciones de sensores o iluminación ornamental aprovechando las vibraciones del ambiente.

El usuario final que cuenta con una fuente de generación de energía eléctrica capaz de aportar energía a la red de distribución eléctrica donde se encuentra conectado se le conoce como usuario distribuido con excedentes de energía, esto en el territorio guatemalteco. La energía solar ha sido una de las

que más popularidad ha tenido para usuarios finales por su fácil implementación bajo costo y poco espacio de utilización representando en Guatemala, un ahorro en el costo mensual de la energía eléctrica consumida. Debido a la naturaleza intermitente de la tecnología solar como fuente de energía se tienen lapsos de tiempo en el que no se genera energía eléctrica y esto se deriva en tiempos muertos o de poco aprovechamiento el equipo inversor.

Para esta investigación se evaluará cual puede ser el efecto que tendría la implementación de baldosas con elementos piezoeléctricos como apoyo para generación con la que ya cuenta un edificio hipotético catalogado como autoproducción con excedentes de energía, se fabricará una baldosa piezoeléctrica prototipo se tomarán datos de peso y potencia generada y así conseguir la relación entre peso y potencia que se puede generar por el paso de una persona promedio. Se realizarán proyecciones a futuro donde se apreciará cual es el aumento de la generación en distintos periodos de tiempo.

Se realizarán informes para dar una mejor perspectiva sobre el impacto que pueden tener estos la integración de estos elementos y para finalizar se evaluará si es viable la integración de esta tecnología y bajo qué circunstancias puede ser considerable de no ser viable la integración de estos elementos se describirán las causas por las que no debería realizarse un proyecto a esta escala con esta tecnología.

La investigación consta de 6 fases que son: recopilación bibliográfica, durante esta fase se recopilarán datos que se consideren relevantes para la investigación sobre estudios relacionados. diseño de baldosa piezoeléctrica y su presupuesto: se fabricará un prototipo de baldosa piezoeléctrica de manera mecánica y circuito eléctrico acompañado de su presupuesto esta con el fin de utilizarla para la recopilación de datos. Recopilación de datos y proyección:

haciendo uso de la baldosa piezoeléctricas se tomarán mediciones, tomando una muestra de 200 personas, de peso y potencia generada en un paso utilizando estos datos se proyectarán a futuro asumiendo distintas poblaciones. Informe de aumento de generación del usuario: se realizará un informe acerca del aumento de generación utilizando los datos de la fase anterior, este será dirigido a la administración.

Hipotética del edificio con el fin de representar que tan significativo es el aumento en la generación al implementar baldosas piezoeléctricas. Localización de sitios estratégicos: se propondrá una lista de lugares recomendables dentro de las instalaciones de un edificio para colocar las baldosas piezoeléctricas de una manera más eficiente. Evaluación del impacto de la implementación de tecnología piezoeléctrica: con los datos recopilados en las fases anteriores y se realizará la evaluación de esta tecnología verificando si es viable o de lo contrario se determinará por qué no es recomendable el implementar esta tecnología.

2. ANTECEDENTES

Durante la búsqueda de información sobre el uso cristales piezoeléctricos para la generación de energía eléctrica, se consideraron como bases para comenzar este estudio, los documentos que se presentan a continuación:

El paper “*Feasibility Study for Using Piezoelectric Energy Harvesting Floor in Building’s Interior Spaces*” elaborado para la conferencia internacional de energía alternativa y renovable realizada en febrero de 2017 en España. Se realizó un estudio de factibilidad sobre varias lozas piezoeléctricas que se encuentran en el mercado egipcio comparando varias opciones desde los 10 watts hasta 0.5 miliwatts, ambos por paso, donde se recomienda que para lugares con baja densidad de tránsito como puede ser un apartamento se pueden utilizar lozas de alta potencia para aplicaciones como la operación de sistemas de iluminación LED. (Mohamed Elhalwagy Adnan, M. Ghoneem Mahmoud y Elhadidi Mohamed, 2017).

Se toma como antecedente el estudio anterior debido a que en la comparación se toma en cuenta el piezoeléctrico tipo Buzzer y se menciona que para la utilización se debe realizar la fabricación de las baldosas, no se profundiza sobre la elaboración, pero fue tomada como una opción por ser piezoeléctricos de bajo costo, la presente investigación tiene previsto utilizar este tipo de elementos.

En los estudios realizados en la tesis “*Foot Step Power generation System*” presentada en ANNA University en abril de 2013, concluye que el uso de elementos piezoeléctricos fue un éxito para la generación de energía de

manera económica en áreas donde se tiene un acceso pobre o nulo a la electricidad menciona que puede alimentar cargas de corriente alterna o corriente directa dependiendo de la fuerza aplicada al cristal piezoeléctrico (Kalaivanan G., Prabakaran R., Sasitharan K.R., 2017). Se consideró este estudio como precedente debido a que en él se comprobó que energía producida es suficiente para algunas aplicaciones de lugares donde se tiene acceso nulo a la electricidad, es de interés el lograr producir la mayor cantidad de potencia en este estudio, aunque no funcionaran en isla los elementos piezoeléctricos se toma en consideración el método por el cual se logró producir una potencia mayor.

En el Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio titulado “Optimización de piezoeléctricos comerciales para su uso en sistemas de Energy Harvesting” publicado en 2015, en donde se caracterizan materiales piezoeléctricos para el uso de cosecha de energía aprovechándola para alimentar equipos electrónicos de baja potencia también analiza la transformación de vibraciones en captadas en el ambiente y se propone captarlas en capacitores luego de la rectificación de la corriente eléctrica. (Jiménez Martínez, F. Javier, De Frutos, Jose y Alonso David, 2015).

Se considera este estudio como antecedente debido a la propuesta de la captación de energía en capacitores, para el acople de la generación piezoeléctrica con la energía solar puede hacerse de esta manera, inyectando el total de la energía almacenada en los capacitores, minimizando las pérdidas que puede tener el sistema.

Para la “12th International Conference on Vibration Problems” se presentó el Paper “Random Vibration Energy Harvesting by Piezoelectric Stack Charging the Battery” en el que se propone el uso de piezoeléctricos para aprovechar las vibraciones aleatorias del ambiente y con la ayuda de estos elementos realizar la

carga de un juego de baterías de litio, este arreglo se utiliza para alimentar una lampara led durante los momentos de oscuridad. Los datos mostrados son simulados aplicando fuerzas de hasta 2000 Newton a diferentes frecuencias, sobre un cristal piezoeléctrico, obteniendo para 10 Hertz una potencia de salida de 1mw aproximadamente. Para poder estimar el límite de la cosechadora, basada en pilas piezoeléctricas, con precisión se utilizaron herramientas de modelado que permiten el análisis en diferentes condiciones de funcionamiento, pudiendo de esta manera encontrar los parámetros de diseño de pila. (Shevtsov, Sergey, Flekc, Michail., 2015).

Se consideró este estudio debido a que en el análisis de a distintas frecuencias se toma en cuenta el circuito de rectificación, las resistencias en la entrada antes del puente de diodos obteniendo que a mayor resistencia de entrada se puede al puente de diodos obtener una mayor potencia de salida del puente rectificador para frecuencias bajas. Para el uso de tránsito de personas, puede considerarse como vibraciones aleatorias de baja frecuencia, se tomará en cuenta para el circuito de diseño de la baldosa piezoeléctrica.

En el estudio que tiene como título *“Optimizing orientation of piezoelectric cantilever beam for harvesting energy from human walking”* se llevó a cabo un experimento que consistió en integrar un sistema, pegado a la pierna de una persona, de una masa que oscila a cada paso de la persona con el fin de aprovechar la mayor cantidad de energía para abastecer sus aparatos electrónicos, este fue un experimento que puede ser un trampolín para el estudio de recolectores de energía basados en los pasos de una persona y en los múltiples impactos que se generan al caminar. (Izadgoshasb I., Yee Yan L., Lake N., 2018).

Este documento se incluyó por la estimación que se tiene de la frecuencia de caminata de una persona que se determina a 1Hz y el mejor ángulo para el aprovechamiento de la energía según el estudio, es de 70° respecto a la pierna que realiza el paso. Datos que se tomaran en cuenta para la elaboración de la baldosa cuando se llegue a esa parte en la investigación.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

Conforme a la evolución de la generación de energía y en cumplimiento de los requerimientos actuales cada vez más altos en lo que se refiere a fuentes de energía renovables, se han hecho cada vez más comunes el uso de fuentes de energía alternativas o intermitentes como puede ser las energía solar o eólica en usuario consumidores, En Guatemala estos usuarios se encuentran definidos dentro de la Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable -NTGDR- y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía, Resolución CNEE-171-2008.

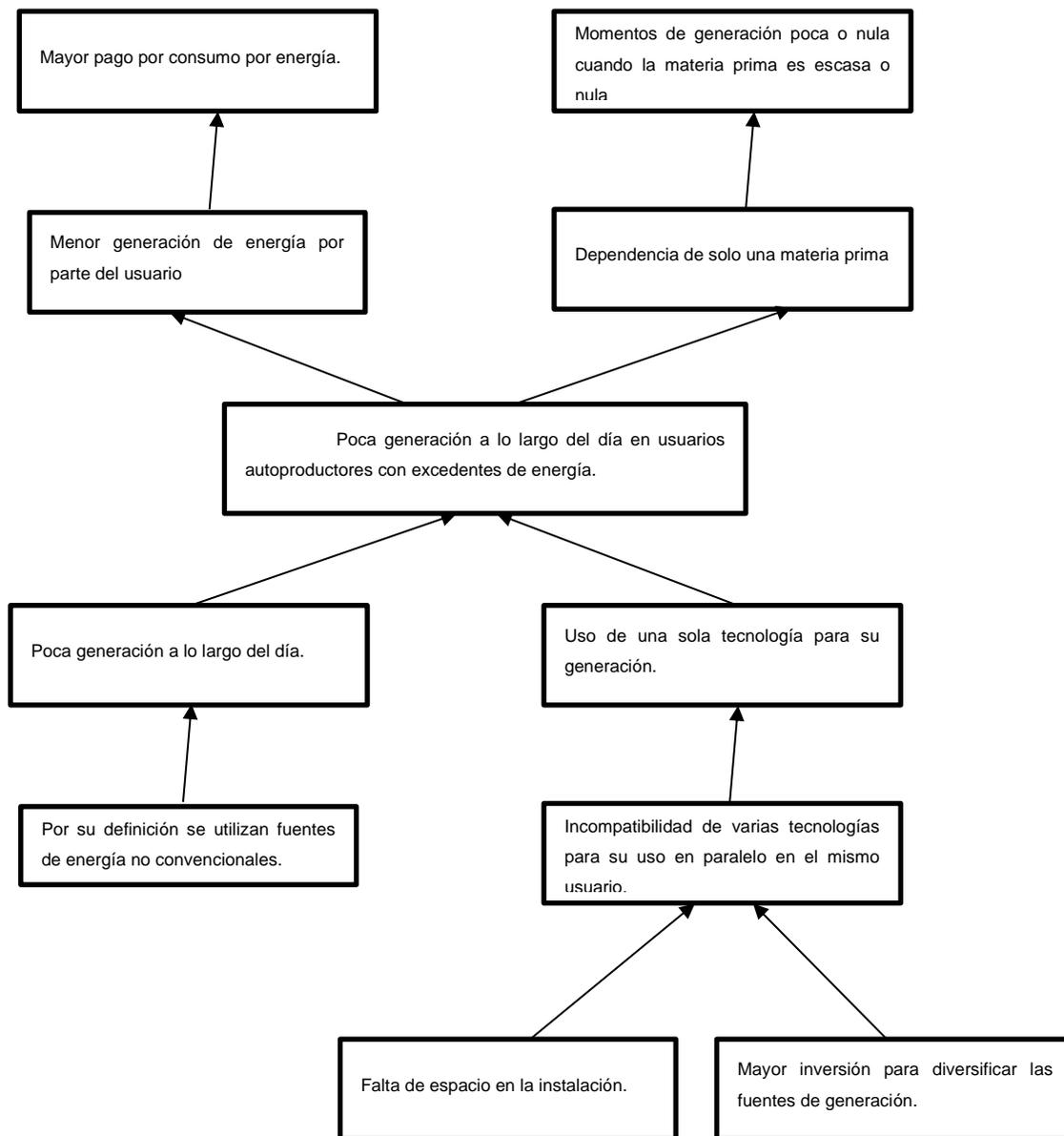
3.2. Descripción del problema

Por su naturaleza estas tecnologías para generación de energía no son constantes a lo largo del día por eso se conocen en algunas literaturas como fuentes de generación intermitente o alternativa. En el caso de la tecnología de paneles solares ha tenido una gran popularidad por su relativamente fácil instalación y poco espacio que ocupan dentro de una instalación que fue pensada con otro fin aparte de la generación de energía como podría ser un edificio de oficinas, por ejemplo.

Tomando el caso de un edificio de oficinas con tecnología fotovoltaica instalada contando con la instalación para inyectar energía a la red de distribución se tienen tiempos muertos en el elemento inversor para la conversión de corriente DC a AC suponiendo un desaprovechamiento de este equipo.

Por medio del presente esquema se plantean las causas y efectos del problema de estudio.

Figura 1. **Árbol del problema**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

3.3. Formulación del problema

La formulación del problema estará estructurada por una pregunta central que intenta buscar una solución general, además, será necesario apoyarse y basarse en cuatro preguntas auxiliares que ayudarán a formular los objetivos específicos, por medio de ese planteamiento se intentará dar una solución viable al problema central.

3.3.1. Pregunta central

¿Qué impacto tendrá en la generación producida por usuarios autoprodutores con excedentes de energía el uso de baldosas piezoeléctricas?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cómo se fabrican y cuál es el costo de estas baldosas piezoeléctricas?
- ¿Cuánta potencia se puede generar por persona en un paso y cuanta energía se puede generar en distintos periodos de tiempo con distintas densidades poblacionales?
- ¿Cuál será el aumento en la generación si se implementa esta tecnología?
- ¿Dónde se encuentran los lugares estratégicos para la colocación de estas baldosas?

3.4. Delimitación del problema

A continuación, se presentan las delimitaciones contextual, geográfica e histórica que se tomaron en cuenta para la investigación:

3.4.1. Delimitación contextual

Este estudio se contextualizará en el ámbito de innovación para la generación de energía de maneras alternativas en el país, haciendo uso de instalaciones ya existentes con el fin de aumentar la producción de energía.

3.4.2. Delimitación geográfica

Este estudio se limitará a ser teórico y se redactará orientado a un edificio ficticio con el fin de que sea flexible y posible, si el lector lo desea, dar seguimiento a lo planteado en este trabajo y se adapte para la integración de la tecnología propuesta en este estudio.

3.4.3. Delimitación histórica

Se realizará delimitación para el contexto histórico que se tiene en la republica de Guatemala a partir de julio de año 2022, con proyección hacia el futuro considerando la vida útil de la baldosa piezoeléctrica, ya que no se cuentan con estudios de manera formal sobre el acople de estas dos tecnologías, solar y piezoeléctrica, se realizará una proyección con los datos recopilados a manera de apoyo para que el lector pueda decidir si le es factible por la cantidad de energía que podría producir.

4. JUSTIFICACIÓN

La elaboración de la presente investigación se encuentra contenida en las líneas de investigación de: Generación distribuida y redes inteligentes también en análisis e impactos de la innovación tecnológica. Estas líneas de investigación están contempladas dentro del área académica en la Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados. Se planteará el uso de baldosas piezoeléctricas como una tecnología de apoyo para aumentar la generación en edificios autoprodutores con tecnología fotovoltaica instalada haciendo uso de los pasos de las personas que transitan dentro de las instalaciones.

En los últimos años se ha observado una preocupación en general a nivel mundial por los efectos del cambio climático, lo que contribuye en gran manera el uso de combustibles fósiles, es necesaria la disminución de este tipo de combustibles. Esto es una preocupación también en el subsector eléctrico por lo que, en las últimas décadas han tenido un auge las tecnologías de generación de energía eléctrica renovable estas dependen del ambiente para producir energía limpia, pero tienen el inconveniente de no producir energía todo el tiempo contando con tiempos de baja o nula generación durante el transcurso del día.

En este estudio se planteará la utilización de la tecnología piezoeléctrica para aumentar la generación en edificios con paneles solares instalados, aprovechando la compatibilidad que brinda el inversor para la inyección de energía a la red, se realizarán proyecciones de la generación que se podría producir con distintas poblaciones.

Con estos datos los usuarios que consideren cumplir las características o cuenten con paneles solares instalados, pueden plantearse instalar tecnología piezoeléctrica en sus instalaciones contando con una base sobre el estudio para esta integración. De ser viable esta tecnología puede aumentar la generación producida por un edificio con estas características esto beneficiaría al propietario aumentando su ahorro, siendo un éxito podría volverse tendencia en este tipo de instalaciones y contribuyendo en conjunto a la tecnología solar volviéndose relevante en la matriz energética del país.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Evaluar el impacto que tendría la utilización de baldos piezoeléctricas para el aumento de generación en edificios autoprodutores con tecnología fotovoltaica.

5.2. Específicos

- Diseñar, enlistar materiales y elaborar un presupuesto para una baldosa piezoeléctrica.
- Determinar cuanta potencia en promedio puede producir una persona por paso y cuantificar la cantidad de energía que se puede producir en periodos de tiempo diferentes con diferentes densidades poblacionales.
- Describir el aumento de la generación de un autoprodutor, si se implementa está tecnología.
- Proponer lugares estratégicos dentro de un edificio donde se pueden aprovechar de una manera más eficiente.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En Guatemala, los usuarios finales tienen la opción de poder aportar energía a la red de distribución a la que se encuentran conectados, estos usuarios son conocidos como usuarios autoprodutores con excedentes de energía. Estos deben utilizar fuentes de energía renovable, los usuarios que están dentro de esta categoría no reciben un pago en efectivo, por la energía que producen si no que se hace un descuento a la factura por el consumo de energía.

Una de las opciones es la instalación de paneles solares para generar energía, pero debido a la naturaleza de esta tecnología es conocida en algunas literaturas como una fuente de energía intermitente esto es causado porque hay intervalos de tiempo durante el transcurso del día en el que se tiene poca o nula generación al depender de la luz solar, representando un menor ahorro para el usuario.

En esta investigación se realizará la propuesta para un edificio con tecnología fotovoltaica instalada, la utilización de elementos piezoeléctricos para la generación de energía ya que al contener una alta concentración de personas entrando y saliendo de sus instalaciones a lo largo del día colocando estos elementos en un piso o baldosas preparadas se pueden aprovechar los pasos de estas personas para la generación de energía y así aumentar el ahorro sobre el consumo de energía.

Al comienzo de la investigación no se tienen datos sobre el acople de estas tecnologías, pero si se han realizado varios estudios sobre la utilización de

piezoeléctricos como fuente de energía renovable alternativa de manera individual para aplicaciones simples que requieren poca energía.

Durante el estudio se fabricará una baldosa piezoeléctrica con el fin de realizar pruebas con personas de distintos pesos para relacionar cual es la cantidad en watt/paso que puede producir un individuo, estos datos se extrapolaran para proyectar la energía que se puede generar por metro cuadrado asumiendo distintas poblaciones de un peso medio en intervalos de: día, mes y años.

También se realizará un inventario de los materiales necesarios y el presupuesto que se requirió para fabricar una baldosa con el fin de que si el lector lo desea implementar esta tecnología cuente con una base para la implementación. Al final del estudio con los datos recopilados se podrá determinar si la instalación de un piso de baldosas piezoeléctricas en una instalación con tecnología fotovoltaica instalada es viable.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Fuentes de energía eléctrica

En la Naturaleza los cuerpos, o un conjunto de cuerpos, que cuentan con una masa tienen mayor o menor capacidad de realizar un trabajo (Roldan Vilorio, J. 2008). esta es una propiedad intrínseca de la materia y se conoce como energía. Todos los cuerpos que existen en la naturaleza cuentan con esta cualidad.

La electricidad es la capacidad que tienen los materiales, o un conjunto de ellos, para hacer que los electrones que los conforman realicen un trabajo, a esta capacidad se le conoce como energía eléctrica, puede ser definida también como el medio que utiliza la materia para actuar (Cevallos, A., 1996). Desde su descubrimiento a lo largo de la historia el ser humano ha encontrado diversas formas para la generación de electricidad con el fin de utilizar la corriente eléctrica en una gran variedad de aplicaciones. A las tecnologías que se utilizan para la generación de energía eléctrica se les suelen nombrar en relación con la materia prima que les es necesaria para lograr esta tarea. Las fuentes de energía se pueden catalogar en dos grandes grupos que son: fuentes de energía renovable y fuentes de energía no renovable.

7.1.1. Fuentes de energía no renovables

Se conocen como fuentes de energía no renovable a las que utilizan recursos finitos, no recuperables o de lenta recuperación que se encuentran en la naturaleza como ejemplo se pueden mencionar a los combustibles fósiles, los

isotopos radioactivos utilizados para la energía nuclear y el carbón (Energía Solar Ministerio de industria Energía y Minería., 2022).

Este tipo de tecnologías, aunque son confiables en lo que estabilidad y tiempos de respuesta se refiere dependen de materias finitas y provocan en su mayoría gases como CO₂ que contribuye a el efecto invernadero y al calentamiento global. Por estos motivos y el temor de que en un futuro la humanidad podría quedarse sin materia prima para la generación de energía eléctrica se han buscado el apoyo de otro tipo de tecnologías.

7.1.2. Fuentes de energía renovables

Las fuentes de energía renovables son aquellas que para su aprovechamiento utilizan recursos de la naturaleza que se reponen más rápido de lo que son consumidos algunos ejemplos de este tipo de fuentes son el viento y la luz solar (Organización de Naciones Unidas., 2022). Este tipo fuentes de energía son un factor clave para el amortiguamiento de los efectos del cambio climático, haciendo un uso de tecnología se pueden lograr obtener electricidad de los distintos procesos que ocurren en la naturaleza como el fluir de los ríos, el soplar del viento o la radiación que recibe la tierra del sol.

Las energías renovables dependen de las características naturales del entorno, esto hace que sean instaladas en lugares donde existe un recurso natural en abundancia, una de las tecnologías que ha tenido mayor popularidad es la que aprovecha la fuente de energía más grande y abundante en la tierra, la radiación proveniente del sol.

7.1.2.1. Energía fotovoltaica

Es la energía eléctrica que se obtiene del aprovechamiento de la radiación del sol por medio de la instalación de paneles fotovoltaicos (Asociación de Generadores con Energía Renovable., 2022). Este tipo de tecnología es abundante y limpia, pero tiene la limitante de que no se puede transformar la totalidad de la radiación recibida por un panel solar en electricidad además de no poder obtener una eficiencia total, para la generación de grandes cantidades de energía eléctrica se necesitan grandes extensiones de terreno.

A pesar de las limitantes, como su eficiencia y la relación directa en generación y área, las bondades de la generación fotovoltaica han hecho que tenga una buena aceptación y es una de las más populares respecto a de energías limpias se refiere.

7.1.2.2. Piezoelectricidad

Es la energía eléctrica que se puede obtener a través del efecto piezoeléctrico. Este es un efecto natural físico que transforma la presión mecánica, aplicada a un material piezoeléctrico, a movimiento de cargas eléctricas. El fenómeno piezoeléctrico fue descubierto por Jacques y Pierre Curie en 1881, mientras hacían investigaciones acerca de la piroelectricidad, fue utilizado para la elaboración de un dispositivo cuyo fin era el de realizar calibraciones (Museo Virtual de la Ciencia del CSIC, 2022). Este tipo de tecnología aprovecha los movimientos mecánicos y deformaciones que se pueden realizar a un cristal para el movimiento de electrones, electricidad.

La existencia de este fenómeno abre la posibilidad a que se pueda generar energía eléctrica aprovechando procesos cotidianos que involucren movimiento,

como vibraciones en los ambientes industriales, el paso de vehículos o el caminar de una multitud, siendo este último el tema principal de esta investigación.

7.2. Mercado eléctrico en Guatemala

Es el conjunto de Operaciones de compra y venta de energía y potencia a corto y largo plazo. En el mercado se encuentran separadas las actividades de la industria eléctrica con el fin de fomentar la libre competencia, para comercialización y generación. Las actividades de transporte y distribución son reguladas cuentan con integrantes de iniciativa pública y privada para prestar estos servicios, estos son otorgados mediante licitaciones públicas. (Administrador de Mercado Mayorista, 2020)

7.2.1. Agentes del mercado mayorista

Son considerados como agentes del mercado mayorista según la ley general de electricidad los generadores, transportistas, distribuidores, comercializadores e importadores. Estos deben superar el tamaño límite establecido en el reglamento de la ley general de electricidad (Congreso de la Republicade Guatemala, 1996).

7.2.2. Usuarios

Según el reglamento de la Ley General de Electricidad, toda persona o asociación que cuente con un contrato vigente de suministro eléctrico con una distribuidora (Acuerdo Gubernativo Número 256-97, 1997).

7.2.3. Usuario autoprodutor distribuido con excedentes de energía

Es un usuario, conectado al sistema de distribución, que dentro de sus instalaciones cuentan con una fuente para generación de energía eléctrica, esta debe ser renovable y tener la capacidad de inyectarla energía al sistema. Este tipo de usuarios no recibe remuneración por la energía que inyecta al sistema, pero la potencia generada por sus instalaciones se descuenta de la potencia suministrada traduciéndose en un ahorro al pago del servicio (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014).

8. MARCO CONCEPTUAL

8.1. Fenómeno piezoeléctrico

Se produce al ejercer presión sobre un cristal piezoeléctrico, este fenómeno fue descubierto por Pierre y Jacques Curie en 1881. Al presionar un elemento piezoeléctrico esto causa un desplazamiento de cargas relacionado directamente a la presión ejercida. (Chacón, C., Cortez, J., Giral, D., 2012).

8.2. Materiales piezoeléctricos

En el descubrimiento de los hermanos Curie fueron catalogados como materiales piezoeléctricos, tales como el topacio, sal de Rochelle, turmalina y el cuarzo, de estos mencionados únicamente se comercializa con el cuarzo para ser utilizado como sensor piezoeléctrico. (Museo Virtual de la Ciencia del CSIC, 2022).

8.3. Fenómeno fotovoltaico

A mediados del siglo XIX Becquerel, físico de nacionalidad francesa, descubrió que la radiación solar puede ser transformada en energía eléctrica, por medio de la estimulación sobre un semiconductor a ciertas frecuencias de la luz, midiendo en los extremos del semiconductor una diferencia de potencial (Ramos, A., 2004).

8.4. Partes de la generación fotovoltaica

Para la conversión de la energía radiante a eléctrica por medio de paneles solares se hace el uso de un sistema de generación fotovoltaico el cual consta, principalmente, de los siguientes elementos.

8.4.1. Estructuras

La generación solar es por lo general instalada a la intemperie, y necesita de bases metálicas galvanizadas, permiten sostener el panel solar sobre una superficie estas deben ser lo suficientemente resistentes para sostener el peso y las fuerzas que puede ejercer el viento sobre el o los paneles, tienen también la función de mantener el ángulo óptimo calculado por el integrador del sistema solar.

8.4.2. Modulo fotovoltaico

El módulo fotovoltaico también conocido como panel solar, es el elemento que transforma la energía radiante proveniente del sol a eléctrica utilizando encapsulados de silicio conectados eléctricamente, existen de diversas opciones en el mercado siendo las principales categorías monocristalinos y policristalinos.

8.4.3. Banco de baterías

Para el almacenamiento de la energía generada por el módulo fotovoltaico, es necesario un bando de baterías, este es un conjunto de baterías conectadas en paralelo con el fin de almacenar y surtir energía para momentos de escaza radiación suministrando así un voltaje constante a la salida del sistema antes de ser convertido a corriente alterna.

8.4.4. Regulador de carga

El banco de baterías necesita un dispositivo electrónico cuya función es equilibrar la carga de las baterías de una manera eficiente. De esta manera el conjunto de baterías tendrá una mayor vida útil y no se sobrecargará en momentos de alta radiación solar.

8.4.5. Inversor

A la salida del sistema antes este elemento se obtiene una salida de voltaje y corriente en DC. El inversor es el elemento encargado de convertir la corriente directa proveniente del banco de baterías al sistema de distribución con el que cuenta el usuario.

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Fuentes de energía eléctrica

1.1.1. Fuentes de energía no renovables

1.1.2. Fuentes de energía renovables

1.1.2.1. Energía fotovoltaica

1.1.2.2. Piezoelectricidad

1.2. Mercado eléctrico en Guatemala

1.2.1. Agentes del mercado mayorista

1.2.2. Usuarios

1.2.3. Usuario autoprodutor distribuido con excedentes de energía

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. Fenómeno piezoeléctrico

2.2. Materiales piezoeléctricos

- 2.3. Fenómeno fotovoltaico
- 2.4. Partes de la generación fotovoltaica
 - 2.4.1. Estructuras
 - 2.4.2. Modulo fotovoltaico
 - 2.4.3. Bando de baterías
 - 2.4.4. Regulador de carga
 - 2.4.5. Inversor

- 3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
 - 3.1. Diseño de baldosa piezoeléctrica
 - 3.1.1. Propuesta de baldosa
 - 3.1.1.1. Lista de materiales baldosa
 - 3.1.1.2. Diseño electromecánico baldosa
 - 3.1.1.3. Costo de materiales baldosa
 - 3.2. Pruebas de potencia generada con personas de distinto peso
 - 3.2.1. Descripción de metodología para toma de datos
 - 3.2.2. Resultados obtenidos
 - 3.2.3. Relación de watts/paso
 - 3.3. Estimaciones de energía generada por elementos piezoeléctricos con distintas poblaciones
 - 3.3.1. Descripción de condiciones en edificio para las estimaciones de energía
 - 3.3.2. Energía generada en un día con una población de 650 personas
 - 3.3.3. Energía generada en un mes con una población de 650 personas
 - 3.3.4. Energía generada en un año con una población de 650 personas

- 3.3.5. Energía generada en un día con una población de 1000 personas
- 3.3.6. Energía generada en un mes con una población de 1000 personas
- 3.3.7. Energía generada en un año con una población de 1000 personas
- 3.3.8. Energía generada en un día con una población de 1500 personas
- 3.3.9. Energía generada en un mes con una población de 1500 personas
- 3.3.10. Energía generada en un año con una población de 1500 personas
- 3.4. Propuesta de la conexión para la generación en conjunto con tecnología fotovoltaica
 - 3.4.1. Propuesta de planos de conexión

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

10.1. Características del estudio

Las características del estudio se describen a continuación.

10.1.1. Enfoque

Las variables que se necesitan para este estudio son en su totalidad medibles, potencia, energía, masa y densidad de población, las variables que pueden resultar también de sus interacciones son todas variables cuantitativas continuas, no se cuenta con variables cualitativas dando al estudio un enfoque cuantitativo.

10.1.2. Alcance

En esta investigación no existe un lugar físico como tal, aunque se enfocará en un edificio que cuenta con el estado de autoproducción con excedentes de energía, se recopilarán los datos de potencia que un elemento piezoeléctrico puede generar en respuesta al paso de personas de distintos pesos. Se proyectará de una manera teórica para evaluar la potencia y energía que se puede obtener de elementos piezoeléctricos a una escala mayor, dando a esta investigación el alcance de descriptiva y de pronóstico.

10.1.3. Diseño

El estudio cuenta con diseño pre experimental, debido a que se realizará la toma de datos de la potencia generada por una baldosa piezoeléctrica en respuesta al paso de una persona. No se realizará ninguna manipulación en los datos tomados, solamente estimaciones bajo distintos posibles escenarios poblacionales durante transcurros de tiempo.

10.2. Unidad de análisis

Para la utilización de esta tecnología se considerará un edificio hipotético que cuente con tecnología fotovoltaica instalada y cuente con una alta afluencia de personas ingresando y saliendo en horas determinadas con el fin de realizar una evaluación de la potencia y energía que esta tecnología podrá generar. El lector del estudio podrá decidir si le es conveniente la implementación por las características de su edificio.

10.3. Variables

Las variables e indicadores considerados para este estudio se presentan a continuación.

Tabla I. **Matriz de variables**

	Variable	Definición Conceptual	Dimensionales
V1	Potencia eléctrica (w)	Índice de energía transferida, desde una fuente a un sumidero, por unidad de tiempo.	Watts
V2	Energía (Wh)	Cantidad de trabajo eléctrico realizado durante un transcurso de tiempo.	Watt-hora (Wh)
V3	Densidad Poblacional	Relación entre personas en un lugar y las que podrían ocuparlo en su totalidad.	Adimensional

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla II. **Matriz de indicadores**

	Indicadores	Definición Conceptual	Dimensionales.
I1	Peso por paso (Lb/paso)	Peso en libras ejercido, por una persona, contra el suelo.	Lb/Paso
I2	Potencia/paso. (w/paso)	Relación de la potencia producida por una persona al dar un paso, ejerciendo una fuerza promedio con base en los datos obtenidos de V2, sobre un piso piezoeléctrico.	Watt/Paso

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

10.4. Fases del estudio

El estudio cuenta actualmente con seis fases cada una con un objetivo determinado, estas fases serán descritas a continuación.

10.4.1. Fase 1: recopilación bibliográfica

Se realizará una revisión en general de la información que se considere relevante acerca de la utilización de la tecnología piezoeléctrica como fuente de

energía y se desarrollaran los conceptos relacionados para que el lector comprenda de una mejor manera el estudio.

10.4.2. Fase 2: diseño de baldosa piezoeléctrica y su presupuesto

Se enlistarán los materiales necesarios para la fabricación de una baldosa piezoeléctrica y se realizará un presupuesto necesario para su producción, se realizará una baldosa piezoeléctrica prototipo para la recopilación de datos, los pasos contemplados actualmente para esta fase son:

- Enlistar materiales preliminares, electrónicos y mecánicos.
- Comparar diseños existentes.
- Renovar lista de materiales.
- Planos de disposición mecánica.
- Planos de circuito eléctrico.
- Armado de baldosa piezoeléctrica.
- Pruebas locales mecánicas.
- Prueba de destructiva para límite de peso (opcional).
- Armado de nueva baldosa (opcional).
- Toma de mediciones eléctricas.
- Armado de circuito de medición

10.4.3. Fase 3: recopilación de datos y proyección

En esta fase se realizará la recopilación de datos con baldosa piezoeléctrica de prueba y proyección de energía generada con diferentes densidades poblacionales durante distintos intervalos de tiempo. Para esta fase se proponen los siguientes pasos:

- Determinar el proceso experimental para la toma de datos.
- Determinar el número de muestras necesarias preliminar 200 personas.
- Plantilla en hojas para llenado de toma de datos.
- Elección de punto con alta densidad de tráfico.
- Solicitud a peatones para la toma de mediciones.
- Toma de 5 mediciones por persona para peso y voltajes generados.
- Llenado de tablas para muestreo de datos, pesos y voltajes generados.
- Relacionar los pesos de las personas con la potencia generada.
- Indicar la relación en watts/paso para una persona promedio.
- Plantear diferentes densidades de poblaciones, de peso promedio, transitando en un edificio ficticio.
- Propuesta de comportamiento peatonal en las instalaciones de un edificio.
- Proyección de potencia generada en distintos periodos de tiempo para distintas poblaciones.
- Presentación en tablas de las potencias generadas

10.4.4. Fase 4: informe de aumento de generación del usuario

Se propondrán resúmenes utilizando los datos proyectados en la fase anterior, a modo de informes estos dirigidos a la administración hipotética del edificio con el fin de concentrar y hacer más fácil la evaluación del impacto de las baldosas. Para esta fase se tienen contemplados de manera preliminar los incluir los siguientes datos:

- Periodo o periodos de tiempo.
- Características de edificio y población contemplada.
- Generación promedio de un edificio con tecnología fotovoltaica instalada.
- Horas útiles de sistema de inversor y banco de baterías únicamente con tecnología fotovoltaica instalada.

- Ahorro en términos de Kwh únicamente con tecnología fotovoltaica.
- Comparación de los datos anteriores si se decide implementar la tecnología piezoeléctrica como apoyo a la generación de energía eléctrica.

10.4.5. Fase 5: localización de sitios estratégicos

En esta fase del estudio con la ayuda de conceptos de arquitectura se propondrán sitios, dentro de las instalaciones de un edificio, que pueden considerarse como de alto tránsito esto con el fin de obtener una generación mayor.

- Recopilación de conceptos arquitectónicos que pueden considerarse útiles.
- Consulta de sitios con mayor afluencia a personas recurrentes en edificios que se pueden considerar similares al planteado para la evaluación.
- Utilización de conceptos y conocimientos obtenidos para localizar puntos de mayor afluencia y densidad poblacional.
- Proponer un listado de los sitios recomendados dentro de las instalaciones en un edificio donde se encuentran los puntos con mayor afluencia peatonal.

10.4.6. Fase 6: evaluación del impacto de implementación de tecnología piezoeléctrica

Esta es la fase final del estudio donde mediante el uso de los datos obtenidos en las fases anteriores se podrá, a criterio del investigador, determinar si la implementación de esta tecnología es viable como apoyo a la generación fotovoltaica y determinar cuáles son consideraciones y situaciones en las cuales vale la pena la integración de esta tecnología a una escala mayor o si

definitivamente no es viable y las razones de porque no se debe considerar el acople de estas tecnologías.

10.5. Resultados esperados

Se presentan los resultados esperados en cada fase de la investigación.

Tabla III. Resultados esperados

preguntas de investigación	Objetivos	Fases	Resultados Esperados
¿Qué impacto tendrá en la generación producida por usuarios autoprodutores con excedentes de energía el uso de baldosas piezoeléctricas?	Evaluar el impacto de la utilización de baldosas piezoeléctricas para el aumento de generación de energía eléctrica en edificios autoprodutores con tecnología fotovoltaica.	Evaluación del impacto de tecnología piezoeléctrica.	Definir con base en los resultados de los objetivos específicos como aportaría en generación de un autoprodutor la integración de esta tecnología y si es considerable para una escala mayor.
¿Como se fabrican y cuál es el costo de estas baldosas piezoeléctricas?	Diseñar, enlistar materiales y elaborar un presupuesto para una baldosa piezoeléctrica.	Recopilación bibliográfica. Y Diseño de baldosa piezoeléctrica y su presupuesto	Diseño de un prototipo, estimar un presupuesto para una baldosa piezoeléctrica y utilizarla para la recopilación de datos.
¿Cuánta potencia se puede generar por persona en un paso y cuanta energía se puede generar en distintos periodos de tiempo con distintas densidades poblacionales?	Determinar cuanta potencia en promedio puede producir una persona por paso, y cuantificar la cantidad de energía que se puede producir en periodos de tiempo con diferentes densidades poblacionales.	Recopilación de datos y proyección.	Mediciones de potencia generada por personas de distintos pesos. Y proyectar cual podría ser la energía generada asumiendo distintas densidades poblacionales y personas de peso promedio.
¿Cuál será el aumento en la generación si se implementa esta tecnología?	Describir el aumento de la generación de un autoprodutor, si se implementa esta tecnología.	Informe de aumento de generación del usuario.	Proyecciones teóricas de la energía que se podría generar, concentrado en un informe, tomando como referencia los datos que se generaron en el objetivo anterior.
¿Dónde se encuentran los lugares estratégicos para la colocación de estas baldosas?	Proponer lugares estratégicos dentro de un edificio en donde se pueden aprovechar de una manera más eficiente.	Localización de puntos estratégicos.	Un listado de sitios estratégicos en los cuales se tiene una mayor densidad poblacional, con el fin de colocar las baldosas en estos sitios.

Fuente: elaboración propia.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el desarrollo de la investigación se hará uso de estadística descriptiva, será necesario realizar la recopilación de datos en campo, se espera que se obtenga una distribución normal para los pesos de la población en libras, la medición de los pesos obtendrá por medio de una báscula y se realizará la medición de cada individuo varias veces con el fin de obtener un dato promedio para cada individuo, con el dato promedio para el peso de cada persona elaborará la curva normal para los pesos para una población de 200 individuos el valor central de esta curva se utilizará para las proyecciones a futuro. En paralelo con la recopilación de datos de peso se tomará la potencia generada en un paso de cada uno de los individuos y se determinará la relación entre watts y paso para una persona de peso promedio.

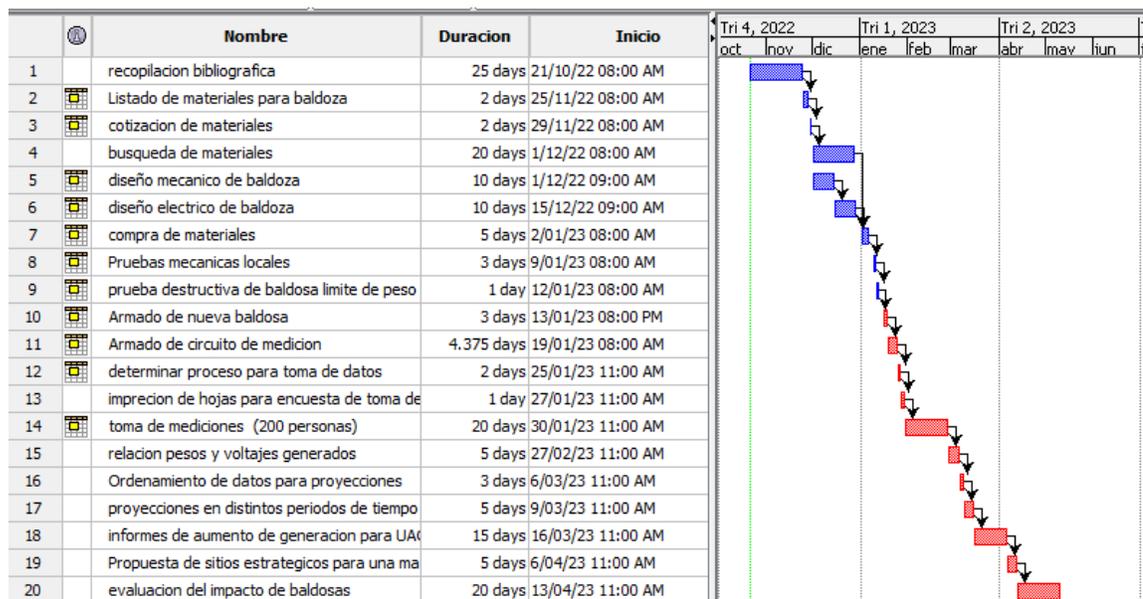
- Recopilación de datos: se realizará la toma de datos en campo, trabajará con una población de doscientas personas, para el peso de las personas se hará el uso de una báscula y la potencia generada en campo haciendo uso de la baldosa piezoeléctrica fabricada en la fase 2 de esta investigación será medida a través de un circuito de medición y multímetros, cada medición de peso y potencia generada será remedida cinco veces se y se tomará como dato de la muestra el promedio de estas mediciones. Estos datos se ordenarán de par en par, peso y potencia generada, para cada muestra.
- Correlación de variables: para las variables de peso y potencia haciendo el uso de los datos tomados se realizará la correlación de estas variables. Se definirá la pendiente de la relación de las variables (peso, potencia).

- Graficas: se realizará la gráfica de la curva normal para la población medida de pesos y se graficará la relación de las variables.
- Descripción estadística: para los datos tomados en cada muestra, en el caso del peso se espera obtener una distribución normal, de esta distribución se tomará el valor central y este será el dato que se utilizara para las proyecciones que se realizaran a futuro para la evaluación.
- Proyección de datos: haciendo uso de la relación entre las variables peso y el dato medio de pesos de la población se proyectará la posible energía generada durante transcurso de tiempo asumiendo distintas poblaciones.
- Resumen de proyecciones: Se propondrán resúmenes, utilizando los datos proyectados en la fase anterior, a modo de informes estos dirigidos a la administración hipotética del edificio con el fin de concentrar y hacer más fácil la evaluación del impacto de las baldosas.

12. CRONOGRAMA

A continuación, se detalla de manera general el cronograma que se tiene contemplado para realizar la investigación.

Figura 2. Diagrama de Gantt



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Project.

Este es una primera estimación de tiempo para la elaboración del trabajo y puede estar sujeto a cambios.

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para la realización del estudio se han considerado los gastos aproximados requeridos para la realización del estudio, tomando en cuenta que se necesita el recurso humano del asesor; apoyo para la adquisición de datos y el investigador, estos gastos se describen a continuación.

Tabla IV. **Gastos del estudio**

Descripción	Cantidad	Costo	Total
Materiales para Baldosa	1	Q 1000.00	Q1,000.00
Computadora con paquete básico de Office.	1	Q2799.00	Q2,799.00
Honorarios de Investigador.	1	Q3000.00	Q3000.00
Bacula.	1	Q400.00	Q400.00
Honorarios apoyo para toma de mediciones	2	Q1500.00	Q3,000.00
multímetro	2	Q450.00	Q900.00
Honorarios de Asesor	1	Q3000.00	Q3,000.00
internet	8	Q379.00	Q3,032.00
		Total	Q17,131.00
		Imprevistos	Q 1,500.00
		Costo Total	Q18,631.00

Fuente: elaboración propia.

Con los datos mostrados en la tabla anterior se considera factible, a criterio del investigador, la realización del estudio.

14. REFERENCIAS

1. Asociación de generadores con energía renovable (2018). *Fundamentos de generación de potencia*. Estados Unidos: autor.
2. Cevallos, R. (1996). *Hablemos de electricidad*. México: Mc-Graw Hill.
3. Chacon, C, Cortez, J., Giral, D. (2012). *Piezoeléctricidad en un BUZZER*. Colombia: Ohnemus editorial.
4. Comisión nacional de energía eléctrica. (2014). *Norma técnica de generación distribuida y usuarios autoprodutores con excedentes de energía*. Guatemala: autor.
5. Congreso de la República de Guatemala. *Ley general de electricidad*. Guatemala: 05 de noviembre de 1996.
6. Izadgooshash, I. Lim, Y. y Lake, N. (2018). *Optimizing orientation of piezoelectric cantilever beam for harvesting energy from human walking*. Australia: Eltram burs.
7. Jiménez, F. Fruto, J. y Dowe, A. (2015). *Optimización de piezoeléctricos comerciales para su uso en sistemas de Energy Harvesting*. España: Gestión científica.
8. Kalaivanan, G. Prabakaran, A. y Sasitharan, K. (2013) *Foot step power generation*. India: s.e.

9. Mercado eléctrico de Guatemala. *Administrador de mercado mayorista*. Guatemala: 15 de enero de 2020.
10. Ministerio de industria energía y minería. *Energía solar*. Uruguay: 26 de marzo de 2016.
11. Mohamed, A. Yousef, M. y Elhadidi, M. (2017) *Feasibility study for using piezoelectric energy harvesting floor in building's interior spaces*. España. Mc Graw Hill.
12. Monilor, P. (2021). *Transductores piezoeléctricos aplicados a la generación de energía*. España: s.e.
13. Museo virtual de la ciencia del CSIC (2022). *Fabricación con arquitectura piezoeléctrica*. Madrid: autor. Recuperado de <https://museovirtual.csic.es/>
14. Organización de las Naciones Unidas (2022). *Impactos negativos en la salud del ser humano por utilizar materiales contaminantes*. Estados Unidos: autor.
15. Pirir, M. (2017). *Materiales inteligentes*. Madrid: Parson.
16. Ramos, A. (2004). *Conversión de la luz solar en energía eléctrica manual, teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos*. México: Armstrong investigation.
17. Reglamento ley general de electricidad. *Acuerdo Gubernativo Número 256-97*. Guatemala: 15 de marzo de 1997.

18. Roldán, J. (2008). *Fuentes de energía*. España: Mc Graw Hill.
19. Sheclsov, S. y Fleck, M. (2016). *Random vibration energy harvesting by piezoelectric stack charging the battery*. Russia: Chemonics International.

