



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DEL EFECTO DE LAS PÉRDIDAS EN LA
RED ELÉCTRICA DE GUATEMALA DE LAS CENTRALES DE GENERACIÓN RENOVABLE
Y NO RENOVABLE CON BASE EN SU UBICACIÓN TOPOLÓGICA PARA EL PERÍODO
2017-2021**

Mario Alexander Monzón Castillo

Asesorado por M.A. Ing. Edson Tomás Raymundo Ixim

Guatemala, abril 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DEL EFECTO DE LAS PÉRDIDAS EN LA
RED ELÉCTRICA DE GUATEMALA DE LAS CENTRALES DE GENERACIÓN RENOVABLE
Y NO RENOVABLE CON BASE EN SU UBICACIÓN TOPOLÓGICA PARA EL PERÍODO
2017-2021**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIO ALEXANDER MONZÓN CASTILLO
ASESORADO POR M.A. EDSON TOMÁS RAYMUNDO IXIM

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ABRIL 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 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. Carlos Alberto Navarro Fuentes
EXAMINADOR	Ing. Edgar Yanuario Laj
EXAMINADOR	Ing. Brian Enrique Chicol Morales
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 EL ANÁLISIS DEL EFECTO DE LAS PÉRDIDAS EN LA RED ELÉCTRICA DE GUATEMALA DE LAS CENTRALES DE GENERACIÓN RENOVABLE Y NO RENOVABLE CON BASE EN SU UBICACIÓN TOPOLÓGICA PARA EL PERÍODO 2017-2021

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 07 de noviembre de 2022.

Mario Alexander Monzón Castillo



EEPFI-PP-1621-2022

Guatemala, 7 de noviembre de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica
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 EL ANÁLISIS DEL EFECTO DE LAS PÉRDIDAS EN LA RED ELÉCTRICA DE GUATEMALA DE LAS CENTRALES DE GENERACIÓN RENOVABLE Y NO RENOVABLE CON BASE EN SU UBICACIÓN TOPOLÓGICA PARA EL PERÍODO 2017 2021**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Todas las áreas - Proyectos de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica en un mercado eléctrico regulado**, presentado por el estudiante **Mario Alexander Monzón Castillo** carné número **201612171**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Gestión De Mercados Eléctricos 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"

Mtro. Edson Tomás Raymundo Ixim
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-1387-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería 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 EL ANÁLISIS DEL EFECTO DE LAS PÉRDIDAS EN LA RED ELÉCTRICA DE GUATEMALA DE LAS CENTRALES DE GENERACIÓN RENOVABLE Y NO RENOVABLE CON BASE EN SU UBICACIÓN TOPOLÓGICA PARA EL PERÍODO 2017 2021**, presentado por el estudiante universitario **Mario Alexander Monzón Castillo**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

The image shows a handwritten signature in black ink over a circular official stamp. The stamp contains the text: "UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA", "DIRECCIÓN ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA", and "FACULTAD DE INGENIERÍA".

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica

Guatemala, noviembre de 2022

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 EL ANÁLISIS DEL EFECTO DE LAS PÉRDIDAS EN LA RED ELÉCTRICA DE GUATEMALA DE LAS CENTRALES DE GENERACIÓN RENOVABLE Y NO RENOVABLE CON BASE EN SU UBICACIÓN TOPOGRÁFICA PARA EL PERIODO 2017-2021**, presentado por **María Alexander Monzón Castillo**, 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, abril de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por haberme permitido realizar uno de mis sueños y por estar conmigo siempre.
- San Judas Tadeo** Por estar acompañándome en todo momento.
- Mi madre** Sonia Johanna Monzón Castillo, por apoyarme siempre; estaré siempre agradecido por sus sacrificios y enseñanzas que me dio desde pequeño.
- Mi hermano** Daniel Andrés Azurdía Monzón, por su apoyo, amor y compañía durante mi vida y por haberla hecho más alegre.
- Mi abuelita** Amparo Feliza Castillo, por acompañarme en el transcurso de mi vida y su amor, a quién dedico este logro, por sus sabias enseñanzas y consejos que me ayudaron a luchar por mis sueños.
- Mis tías y tíos** Brenda, José y Pedro Monzón, Vilma Araiz, por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera.

Mi novia

María Angela Polanco Alfaro, por su importante apoyo durante mi vida y carrera profesional, por creer en mí, por ser mi inspiración y amiga, por brindarme felicidad y amor incondicional que me impulsó a ser mejor cada día.

Mis primos

Pedro Monzón y Ariana Martínez, por ser como mis hermanos, por su cariño, por su motivación y compañía durante mi vida.

Mi familia

Por compartir este triunfo conmigo, por estar conmigo en el transcurso de toda mi vida y su apoyo incondicional.

Familia Polanco Alfaro

Sebastián Polanco y Vilma Alfaro por su apoyo y cariño.

Mis amigos

Jorge Azurdia, Rodrigo Salguero, Mynor García, Richard Wellmann, Óscar Suy, Lester Chávez, Henry Contreras, Kevin Choc, Gustavo y Daniel Miranda, Mario Díaz, Marcos Castellanos, Josué Juárez, Erick Lool, Christian de la Cruz, Mario Larrazabal, Leonel Solares, Edi López, Isabel Muñoz, Jorge Santamarina, por estar conmigo en las diferentes etapas de mi vida, hacer de ella algo memorable, por su apoyo incondicional y cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrirme las puertas, ser mi casa de estudios, por formarme a nivel académico y darme las herramientas necesarias para desenvolverme profesionalmente.
Facultad de Ingeniería	Por darme la oportunidad de conocer personas únicas, aprender y desenvolverme en el ámbito profesional como ingeniero.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por darme la oportunidad de seguir creciendo intelectualmente y de desenvolverme al lado de grandes profesionales.
Mi asesor	Ing. Edson Raymundo, gracias por asesorar y brindar el apoyo en este proceso.
Mis amigos	De la licenciatura y la maestría, por su compañía y ayuda en el transcurso de estos años.
<i>Dispack</i>	Por permitirme iniciar mi carrera profesional, además de darme la oportunidad de crecer profesionalmente.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.1. Contexto general	7
3.2. Descripción del problema	8
3.3. Formulación del problema	9
3.3.1. Pregunta central	9
3.3.2. Preguntas auxiliares	10
3.4. Delimitación del problema	11
3.4.1. Limite Contextual	11
3.4.2. Límite Geográfico	12
3.4.3. Límite Histórico	12
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General	15
5.2. Específicos	15

6.	NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN.....	17
7.	MARCO TEÓRICO	19
7.1.	Clasificación de las pérdidas de energía.....	19
7.1.1.	Pérdidas técnicas.....	20
7.1.1.1.	Criterios para reducir las pérdidas técnicas.....	21
7.1.2.	Pérdidas no técnicas.....	21
7.1.2.1.	Criterios para reducir las pérdidas no técnicas.....	22
7.1.3.	Pérdidas fijas y pérdidas variables.....	22
7.2.	Generación de energía renovable.....	22
7.2.1.	Energía por geotérmica.....	23
7.2.2.	Energía por biomasa.....	24
7.2.3.	Energía solar.....	24
7.2.4.	Energía eólica.....	24
7.2.5.	Energía hidroeléctrica.....	25
7.3.	Generación de energía no renovable.....	26
7.3.1.	Energía por bunker.....	26
7.3.2.	Energía por diésel.....	27
7.3.3.	Energía por carbón.....	27
7.4.	Generación distribuida renovable.....	27
7.5.	Ubicación de las centrales de generación.....	29
7.6.	Impacto por la utilización de generación distribuida renovable.....	29
7.6.1.	Emisión de CO ₂ y GEI por kW/h.....	30
7.6.2.	Reducción de costos para la expansión de redes de transmisión.....	32
7.6.3.	Aumento de la cobertura en el servicio eléctrico...	33

7.7.	Impacto de la disminución de las pérdidas de energía	33
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	35
9.	METODOLOGÍA.....	39
9.1.	Características del estudio	39
9.1.1.	Diseño	39
9.1.2.	Enfoque	40
9.1.3.	Alcance.....	40
9.2.	Unidades de análisis	40
9.3.	Variables	41
9.4.	Fases del estudio	42
9.4.1.	Fase 1: Exploración de bibliografía	43
9.4.2.	Fase 2: Recolección de la información general	43
9.4.3.	Fase 3: Determinación de la capacidad instalada	43
9.4.4.	Fase 4: Estimación de costos.....	44
9.4.5.	Fase 5: Evaluación de producción.....	44
9.4.6.	Fase 6: Análisis e interpretación de resultados	44
9.5.	Resultados esperados.....	45
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	47
10.1.	Recopilación de datos	47
10.2.	Lista de cotejo	47
10.3.	Base de datos.....	47
10.4.	Estadística inferencial.....	48
10.5.	Estadística descriptiva.....	48
11.	CRONOGRAMA.....	51

12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	53
13.	REFERENCIAS	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Árbol De Problemas	11
2.	Esquema De Solución	18
3.	Transporte De La Energía	20
4.	Generación Distribuida	28
5.	Coeficiente De Emision	30
6.	Emisión De Tco2 Por Tipo De Tecnología En El Año 2019	31
7.	Cronograma De La Investigación	51

TABLAS

I.	Definición De Variables	41
II.	Definición Operativa De Las Variables	42
III.	Resultados Esperados	45
IV.	Gastos Del Estudio.....	54

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
CO₂	Dióxido de carbono
kg	Kilogramo
kVA	Kilo Voltio Amperio
kW	Kilo Watts
kWh	Kilo Watts hora
MW	Mega Watts
%	Porcentaje
Q	Quetzales
V	Voltios

GLOSARIO

AMM	Administrador del Mercado Mayorista. Entidad encargada de la operación técnica y comercial del mercado mayorista en Guatemala.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima.
ENERGUATE	Empresa eléctrica de distribución encargada del oriente y occidente del país.
GDR	Generador Distribuido Renovable.
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
MEM	Ministerio de Energía y Minas.

1. INTRODUCCIÓN

Realizar el estudio del análisis del efecto que tienen las pérdidas en la red eléctrica, en las centrales de generación renovables y no renovables guatemaltecas, desde una perspectiva en la que las pérdidas de energía, no se pueden aprovechar para realizar un trabajo efectivo, incrementan el costo de la energía debido a que el costo debe ser absorbido, también restan confiabilidad al servicio y generan gases de efecto invernadero y CO₂, los cuales provocan daños al medio ambiente y contribuyen al aumento de la temperatura a nivel global.

Durante el proceso de la generación hasta la distribución de la energía, no es posible que se pueda aprovechar el total de la energía generada, esto puede ser ocasionado por los aspectos físicos de las líneas o bien por aspectos de error humano. Estas pérdidas mencionadas muestran las ineficiencias y le restan seguridad al servicio energético, por otra parte, se producen gases que son nocivos para el medio ambiente, además estas pérdidas también se dan por las grandes distancias que tiene que recorrer la energía para llegar a los usuarios finales. Para la mitigación de las mismas se implementa generación distribuida renovable, la cual se coloca en puntos estratégicos lo cual permite reducir el consumo normal de los usuarios finales y con esto se puede obtener un ahorro de pérdidas al sistema y no generar cierta cantidad de gases nocivos.

En la sección 1, se dan a conocer cuáles son los fundamentos para la realización del trabajo como lo pueden ser: los objetivos, la introducción, el planteamiento de problema y por último los antecedentes que tienen la finalidad de darle un soporte al trabajo de investigación.

En la sección 2, se presenta el marco teórico con conceptos de las pérdidas de energía, explicando los tipos que existen y sus criterios de disminución, también mencionando los efectos que tienen las pérdidas de energía, por otra parte se explican la generación renovable y no renovable y también se le da el énfasis necesario a la generación distribuida renovable y como esta puede influir para la mejora de la eficiencia energética de la red, también se menciona en una sección la sostenibilidad ambiental por la emisión de CO₂ y gases de efecto invernadero y en otra acerca del marco regulatorio para los GDRs (generadores distribuidos renovables). Asimismo, se da a conocer la idea de la ubicación adecuada de una central generadora.

En la sección 3, se presenta el desarrollo de la metodología a utilizar, en donde se exponen las características del estudio, las variables, la unidad de análisis y las fases del estudio que servirán para la determinación de los objetivos planteados.

En la sección 4, finalmente se presentan los resultados principales que se obtuvieron, de los análisis mencionados a través de gráficos por medio de comparaciones, incluyendo las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación realizado.

2. ANTECEDENTES

Para el efecto de los estudios de investigación realizados, es necesario cumplir con los objetivos del análisis que presenta el efecto de las pérdidas en la red eléctrica de las centrales de generación renovable y no renovable, lo cual tiene la característica de permitir identificar cuáles son las condiciones y efectos que tienen y como el implemento de nuevas tecnologías puede mitigar las pérdidas de energía. Para esto existen trabajos, artículos científicos e informes, los cuales se citan a continuación para dar soporte sobre el diseño de investigación planteado.

En el estudio *Análisis de las Pérdidas de Energía Eléctrica en la Red de Distribución para Mejorar el Estado Financiero en la subestación SED E410296 – 160 kVA – Concepción* (Toykin, 2020), es un documento de investigación que pretende seccionar los tipos de pérdidas de energía, que se encuentran presentes en la distribución de la misma, puede ser en media y baja tensión, el cual da como resultado, que para este tipo existen las pérdidas técnicas y no técnicas de energía. El problema que causan las pérdidas mencionadas es la calidad y la seguridad del servicio. Se determinó que las pérdidas técnicas más comunes son por efecto Joule (calor), pérdidas por corrientes parásitas, y por caída de tensión generadas por sobrecargas o por distancias largas para la transmisión de energía. También se estableció que las pérdidas no técnicas, comúnmente se dan por contrabando o por error en la contabilización de energía.

Según el artículo 15 BIS del AMM, el Ministerio de Energía y Minas de Guatemala a través de la Dirección General de Energía (órgano técnico

especializado del que habla el artículo 15 BIS) publicó el *Plan de Expansión del Sistema de Generación y Transporte* (Ministerio de Energía y Minas, 2019), donde propone dar una mayor importancia al uso de las energías renovables, para lograr reducir las emisiones contaminantes y con esto se realiza en conjunto con la diversificación de la matriz de energía. Se realiza una proyección en donde se estima que en el período 2020-2034, se producirán entre 50 y 80 millones de toneladas de CO₂, pero incluyen lo propuesto en este artículo, que se podría proyectar la reducción entre poco más de 20 y 30 millones de toneladas de CO₂.

En el trabajo de grado titulado como *Las Energías Renovables en España y su Impacto Económico* (Narváez, 2019), en el cual se analizan los retos que afronta la sociedad y la necesidad que se tiene de crear soluciones, con la implementación de energías renovables y cuál es la evolución que presentan las mismas, en donde se analiza principalmente, cual es el impacto económico nacional del sector, con conceptos del consumo final y primario de energía, la generación eléctrica y la potencia que se tiene instalada de energía renovable, para cuantificar el impacto económico que tienen las mismas en la red eléctrica.

En la tesis titulada como *Impacto de las Políticas Nacionales de Inversión en Eficiencia Energética, Integración de Tecnologías Limpias y Redes Inteligentes en la Matriz Energética Eléctrica y la Reducción de las Emisiones de CO₂ del Sector Eléctrico de América Latina y el Caribe* (De Oliveira, 2017), se realizó un análisis para el porvenir de la generación de energía y la transformación que recibe la matriz energética por el impacto de las energías renovables, esto se realiza por medio de la identificación histórica de 1990-2014, en donde se analiza el desempeño eléctrico latinoamericano. En el cual se encontró que, la mitigación en el sector eléctrico ha sido poco atenuada y

con el impacto de nuevas tecnologías contribuiría hasta un 4.1 % para la reducción de la emisión de gases en el 2040.

En el artículo científico titulado como *Perspectiva del Transformador de Distribución en Redes Eléctricas con Alta Penetración de Generación Distribuida y Vehículos Eléctricos* (Bazurto, Zúñiga, Echeverry y Lozano, 2016), en el cual se indica el impacto que tienen los generadores distribuidos renovables en la red eléctrica y los desafíos que se presentan en el diseño, operación y gestión de la red de distribución eléctrica en donde el principal afectado es el transformador de distribución por la entrada de las nuevas tecnologías de generación. Así mismo, también se presentan estrategias para la mitigación de los impactos negativos que, pueda causar la implementación de esta tecnología de generación en la red.

El artículo titulado como *Programa de Rehabilitación de Redes Eléctricas* (Corporación Dominicana de Empresas Estatales, 2013), se realizó un análisis de cuáles son las pérdidas eléctricas y que es lo que se está realizando para poder reducirlas. Presenta los problemas que se tienen con los diferentes tipos de pérdidas de energía que existen, en donde resaltan las pérdidas no técnicas, las cuales se enfatiza en el robo, fraude, energía no contabilizada y problemas de gestión. También se mencionan las pérdidas técnicas fijas, las cuáles son causadas por deficiencias físicas del sistema y las pérdidas técnicas variables que son relacionadas al transporte de la electricidad.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es importante poder realizar el análisis del impacto que ocasionan las pérdidas de energía en la red eléctrica, en la generación renovable y no renovable del país, esto es debido a que las pérdidas de energía producen costos extras que deben ser absorbidos, le reducen la confiabilidad al sistema y además emiten gases de efecto invernadero y CO₂, los cuales dañan considerablemente al medio ambiente. Se intenta analizar, cuál es el impacto que pueden tener los generadores distribuidos renovables, para la mitigación de estas pérdidas y también verificar cuales son las otras ventajas, que se pueden tener al implementar las nuevas tecnologías en la generación de energía.

3.1. Contexto general

La red eléctrica guatemalteca se encuentra comprendida por un conjunto de instalaciones eléctricas, en el cual la energía es producida en las centrales de generación renovables y no renovables, es transmitida por medio de las líneas de transporte, transformada en subestaciones eléctricas, para finalmente llegar a los consumidores de energía. Todos los agentes generadores comprendidos en la red eléctrica de Guatemala producen y suministran la electricidad, en donde se efectúan las diferentes transferencias de energía eléctrica entre diversas regiones del país, intentando optimizar los recursos energéticos a nivel nacional, con los cual se pueda obtener una mayor confiabilidad, calidad y seguridad en el suministro energético.

Sin embargo, pese a los esfuerzos combinados que tienen todos los agentes participantes en la red eléctrica, existen pérdidas de energía, las cuales

representan un porcentaje considerable en los informes estadísticos que son realizados anualmente. Las pérdidas de energía eléctrica no son aprovechadas para poder realizar un trabajo final y son una fuente de contaminación para el medio ambiente.

En los últimos años se ha identificado que se ha incrementado el número de agentes de generación de energía eléctrica renovable en Guatemala, por lo tanto, la capacidad instalada de generación por este medio también lo ha hecho, lo cual es favorable debido a que este tipo de generación posee un costo de energía más bajo, regularmente se encuentra situado en lugares estratégicos para los puntos de consumo y reduce el porcentaje de contaminación hacia el ambiente.

Por lo cual es necesario considerar un análisis de como varían las pérdidas de energía en la red eléctrica de Guatemala y obtener el impacto que tienen los generadores distribuidos renovables.

3.2. Descripción del problema

La red eléctrica de Guatemala es una de las más eficientes y robustas a nivel centroamericano, esto es debido a la infraestructura que posee. Sin embargo, a pesar de las inversiones económicas, que se le realizan a la red eléctrica se producen pérdidas considerables. Uno de los principales factores, son las pérdidas técnicas las cuales se rigen en la transformación de energía y estas, se pueden dar en elementos y equipos de los circuitos eléctricos como lo pueden ser las líneas de transmisión, transformadores y bancos de capacitores. También están las pérdidas no técnicas que son particularmente las del tipo fraudulento por parte de los consumidores y está se dan en pérdidas administrativas, accidentales, fraudulentas y no identificadas.

En los informes estadísticos proporcionados por el Administrador del Mercado Mayorista, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, la Empresa Eléctrica de Guatemala y de la Distribuidora de Electricidad de Oriente y de Occidente, se pueden observar los porcentajes de pérdidas, que se han tenido en la red eléctrica de Guatemala en el periodo 2017-2021, el incremento que se tiene en la instalación de generadores distribuidos renovables en el país y la gran producción que existen de gases de efectos invernadero en el tiempo de estudio establecido. Por lo cual se deben analizar las pérdidas de energía en la red eléctrica del país, ya que estas deficiencias en el sistema tienen influencia en el costo final de la energía eléctrica y un impacto en la contaminación ambiental. También es necesario medir el impacto e importancia, que tienen los generadores distribuidos renovables y su incidencia en la red eléctrica guatemalteca.

3.3. Formulación del problema

A continuación, en los siguientes incisos se describen las preguntas necesarias para esta investigación.

3.3.1. Pregunta central

Para responder a esta interrogante se deberá contestar la siguiente pregunta principal:

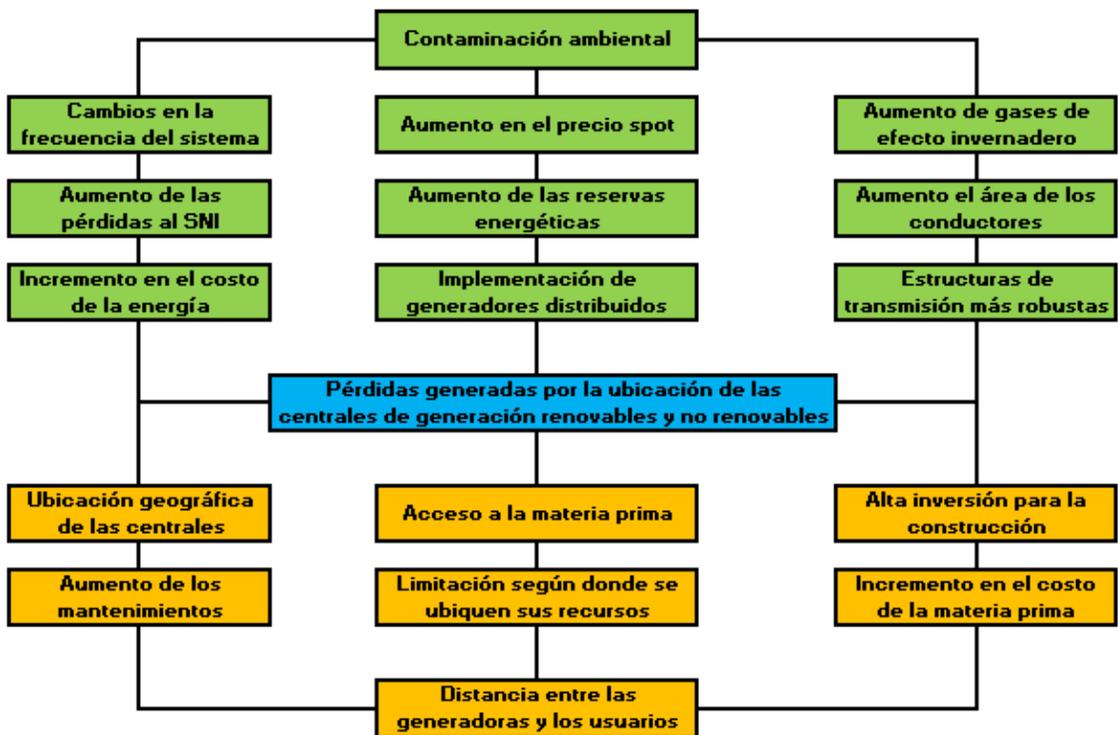
- ¿Cómo influye la distancia entre los usuarios y los generadores renovables y no renovables en las pérdidas de energía en la red eléctrica de Guatemala?

3.3.2. Preguntas auxiliares

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cómo el desarrollo de la generación distribuida renovable puede mitigar las pérdidas de energía en la red eléctrica de Guatemala?
- ¿Cuál sería el impacto en el costo de la energía eléctrica si se redujeran las pérdidas en la generación renovable y no renovable en la red eléctrica de Guatemala?
- ¿Cuánta producción de gases de efecto invernadero y CO₂ producen las pérdidas de energía en la red eléctrica de Guatemala?

Figura 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

3.4. Delimitación del problema

A continuación, se presentan las limitaciones para el desarrollo de la investigación:

3.4.1. Limite Contextual

El problema de investigación se contextualiza en las pérdidas de energía que se tienen en la red eléctrica de Guatemala, por la generación renovable y no renovable, la cantidad de contaminación de gases de efecto invernadero y la influencia hacia estos impactos que se tienen para reducir las pérdidas de energía por medio de los generadores distribuidos renovables.

3.4.2. Límite Geográfico

Para el estudio se analizarán las pérdidas de energía eléctrica, el impacto de los generadores distribuidos, renovables en la misma y la contaminación por gases de efecto invernadero; el cual tendrá como límite geográfico Guatemala.

3.4.3. Límite Histórico

El estudio se enmarcará en una línea temporal de 5 años, partiendo del año 2017 y finalizando en el año 2021, esto se realiza con el propósito de tener un periodo de análisis amplio, que permita estimar cual es el impacto que tienen las pérdidas de energía y el impacto de los generadores distribuidos renovables, esto con base a la información disponible en las páginas del AMM, CNEE, EEGSA Y ENERGUATE.

4. JUSTIFICACIÓN

El diseño de la presente investigación se justifica mediante la línea de investigación de impactos de los sistemas de generación, transmisión, comercialización y distribución eléctrica de la Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados. Con este estudio se aportarán datos cuantificables sobre las pérdidas de energía en la red eléctrica de Guatemala, y la influencia de los generadores renovables y no renovables de energía eléctrica en las mismas.

Con este trabajo se busca conocer cómo influyen en la red eléctrica las pérdidas de energía, la cual nace en las generadoras renovables y no renovables para posteriormente, ser transportada grandes distancias e ingresar en los equipos de transformación, para poder llegar al usuario final y con esto ser aprovechada para realizar un trabajo.

Se obtendrá también una estimación de cuáles son los costos que se producen por las pérdidas de energía eléctrica, en los cuales se analizarán las tarifas de la energía y el porcentaje de pérdidas, que se obtuvo anualmente durante el periodo de tiempo establecido y cómo estos costos van incrementando los precios de la generación, transporte y distribución de la energía.

Además, se determinará cuál es el desarrollo de la capacidad instalada de la generación distribuida renovable, en donde se estimará la producción de energía renovable por tipo, la cual incluye a la generación por medio de hidroeléctricas, plantas solares, plantas eólicas y geotérmicas, en donde también se estimará la capacidad total durante el periodo de tiempo establecido

y cómo este aporte de generación renovable puede influir en las pérdidas de energía en la red eléctrica.

En esta investigación también se estimará la producción de gases de efecto invernadero y dióxido de carbono, en el cual se analizará la cantidad de toneladas de contaminación ambiental, que son producidas por la energía que no es aprovechada para realizar un trabajo.

Los datos obtenidos serán de utilidad para los entes encargados del funcionamiento óptimo de la matriz energética en Guatemala, debido a que mostrará como las pérdidas de energía pueden representar costos elevados para la generación, transporte y distribución de la misma. Mediante la información expuesta, se podrá evidenciar un análisis de cómo el implemento a la matriz energética de generadores distribuidos renovables, con una ubicación estratégica puede influenciar las pérdidas de energía de la red.

Por otra parte, se beneficiará a Guatemala, debido a que es necesario el aumento de la eficiencia energética en la producción de energía eléctrica, por generadores distribuidos renovables para poder reducir el uso de la generación no renovable y ayudar a mitigar la contaminación ambiental. En donde la implementación de lo antes mencionado y la reducción de las pérdidas de energía, deberían de ocasionar una reducción en el precio de la energía.

En Guatemala no se ha realizado un análisis para poder cuantificar los valores que representan las pérdidas en la red, el impacto que tiene la energía renovable para reducir las mismas y la contaminación que produce para el impacto al medio ambiente. Por lo que, esta investigación es relevante para la cuantificación de este impacto.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Analizar las pérdidas de energía en la red eléctrica de Guatemala provocadas por la distancia entre los usuarios y los generadores renovables y no renovables de energía eléctrica.

5.2. Específicos

1. Determinar el desarrollo de la capacidad instalada de la generación distribuida renovable para mitigar las pérdidas en la generación de energía.
2. Estimar los costos de las pérdidas de energía eléctrica en la generación distribuida renovable y no renovable.
3. Evaluar la producción de gases de efecto invernadero y CO₂ que son producidos por las pérdidas de energía.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN

Se pretende determinar el impacto que tiene la red eléctrica nacional, debido a la producción de energía mediante centrales de generación renovables y no renovables, en donde se producen pérdidas de energía en la misma. Esto es una problemática que se tiene a nivel nacional, debido a que dicho porcentaje incrementa el costo del servicio de energía. Esto afecta a toda la población que utiliza electricidad, por lo que, con la presente investigación se pretende analizar como la distancia que tienen los generadores renovables y no renovables pueden impactar estas pérdidas.

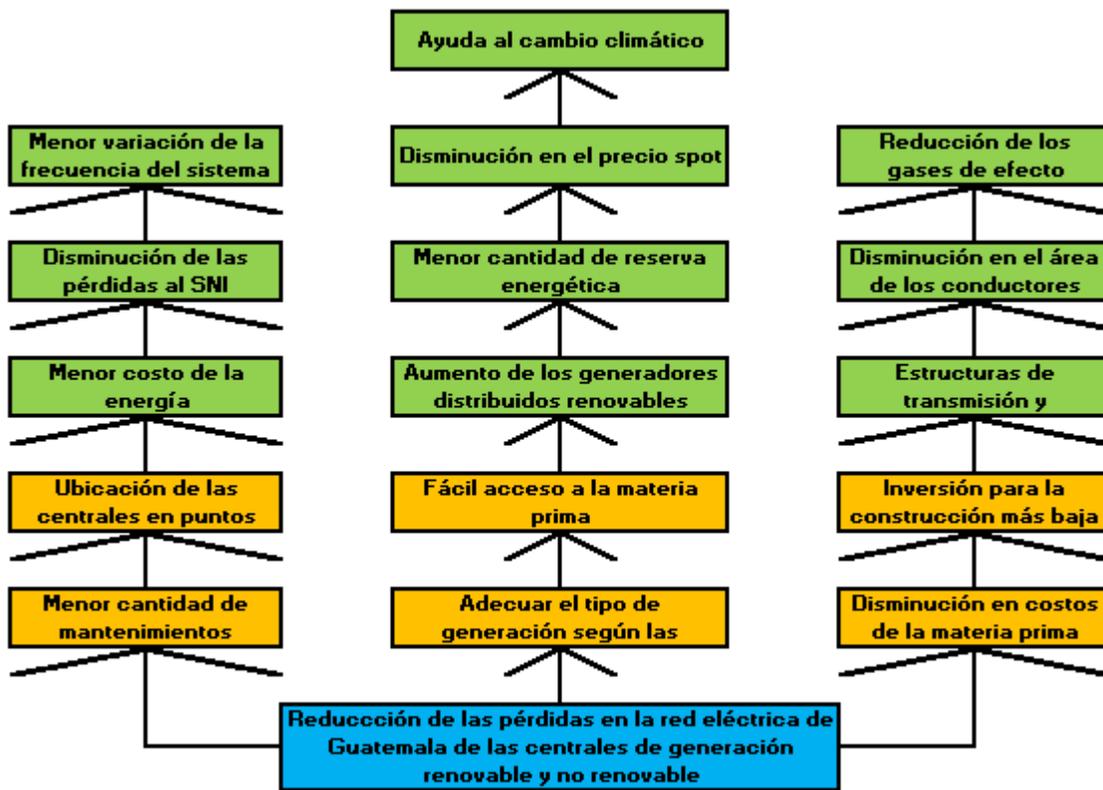
A nivel nacional se trabaja para poder reducir ese porcentaje de pérdidas, debido a que estas representan un porcentaje considerable en los informes que se entregan anualmente. Los problemas que presentan las pérdidas, es que no son aprovechadas para realizar un trabajo y también es una fuente de contaminación para el medio ambiente.

En los últimos años la cantidad de agentes de generación distribuida renovable ha aumentado en Guatemala, en consecuencia, la capacidad instalada también lo ha hecho, por lo que es necesario, cuantificar el crecimiento que han tenido durante el periodo de investigación establecido y como estas pueden disminuir el impacto que generan las pérdidas de energía, la generación de gases de efecto invernadero y CO₂.

En cuanto a las herramientas que serán utilizadas para realizar el estudio planteado, se utilizarán los informes estadísticos proporcionados por el

Ministerio de Energía y Minas, el Administrador del Mercado Mayorista, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, la Empresa Eléctrica de Guatemala y de la Distribuidora de Electricidad de Oriente y de Occidente, para observar el porcentaje de pérdidas, el incremento de generadores distribuidos renovables en el país y la producción de gases de efectos invernadero y CO2 en la red eléctrica de Guatemala en el periodo establecido.

Figura 2. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

7. MARCO TEÓRICO

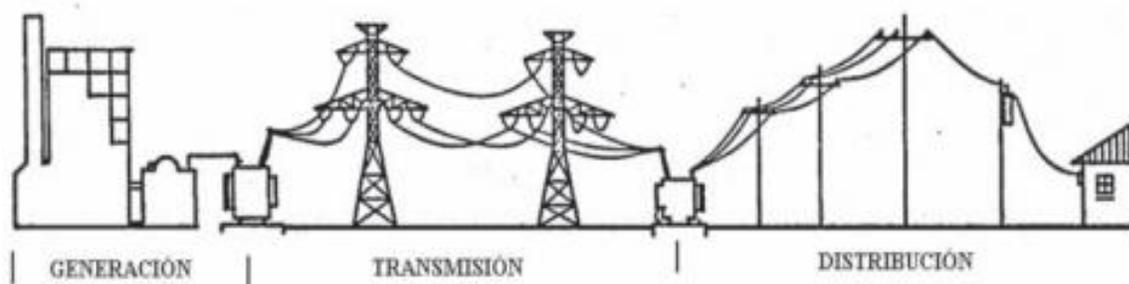
7.1. Clasificación de las pérdidas de energía

La clasificación de las pérdidas de energía se puede describir como un sistema en donde se realiza una estimación de la energía generada y se le resta la energía que fue suministrada a los usuarios finales, posterior a esto, se mide el porcentaje total de la energía utilizada, el cual demostrará que existe una diferencia debido a que no es entregado el 100 % de la energía generada; por lo que el porcentaje restante es el que incluye las pérdidas técnicas, las pérdidas no técnicas y también puede añadir las pérdidas fijas y las pérdidas variables de un sistema eléctrico. Se puede generalizar indicando que las pérdidas son aquellas que son debidas a los fenómenos físicos, las no técnicas son ocasionadas por deficiencias en elementos del sistema y las fijas son las que se obtienen siempre que se energiza la línea de transmisión. (Ochoa, 2006)

De acuerdo con De Gracia (2008), las pérdidas de energía se dan desde, el proceso en el que las generadoras renovables y no renovables produce la energía, la cual es transportada en líneas de transmisión hacia los distribuidores o comercializadores, para poder ser entregada a los usuarios finales. Regularmente se tiene un estimado en el que las pérdidas en transmisión están en un rango deseado del 1 al 2 %, mientras que las pérdidas en distribución están en un rango deseado del 5 al 6 %; por lo que para que se pueda tener un sistema eficiente de energía las pérdidas no deberían ser mayores al 8 % de la energía generada.

También se puede agregar que para las redes de electricidad, aproximadamente el 60 % de las pérdidas de energía se atribuye a las líneas de transmisión y distribución, mientras que el 40 % restante se atribuye a los equipos de transformación de la red, siendo los del área de distribución los que presentan un mayor porcentaje de pérdidas.

Figura 3. **Transporte de la energía**



Fuente: De Gracia Navarro (2008). *La eficiencia en las redes: Niveles de Pérdidas*. En R. De Gracia Navarro, *Energía y Regulación en Iberoamérica* (p.p.. 221-236). Panamá.

7.1.1. **Pérdidas técnicas**

Estas pueden describirse principalmente como la energía que es disipada y que no se puede aprovechar para realizar un trabajo final, en donde también se conoce como el conjunto de pérdidas de energía, que son producidas por los medios físicos, como los pueden ser las condiciones de conducción y transformación de la energía. Estas también pueden clasificarse según la causa que las origina. (Ochoa, 2006)

Algunos de los parámetros que permiten que estas pérdidas técnicas aumenten considerablemente según De Gracia (2008), pueden ser una selección inadecuada del nivel del voltaje en donde se considere la infraestructura y los mantenimientos necesario, por otra parte pueden aumentar

por una mala selección del conductor incluida la longitud del tramo y es debido a la resistencia del mismo otra consideración pueden ser la selección de un equipo de transformación, el cual este dentro de los estándares de pérdidas máximas permisibles.

7.1.1.1. Criterios para reducir las pérdidas técnicas

Cuando se realiza un diseño de una red eléctrica, es necesario que se incluyan los costos que generan las pérdidas, en donde se puedan determinar los valores de la demanda y también el comportamiento que tenga la carga en los sectores específicos, esto permite poder determinar de una mejor forma los costos de la infraestructura y lleva de la mano los costos de la instalación, operación y mantenimientos de la misma (De Gracia, 2008).

7.1.2. Pérdidas no técnicas

Este tipo de pérdidas pueden describir como, la diferencia que existe entre las pérdidas de una red eléctrica en conjunto con las pérdidas técnicas del mismo. Es importante mencionar que esta energía si es aprovechada para realizar un trabajo por un usuario, pero no constituye una retribución económica para el empresa encargada de la distribución de energía (Ochoa, 2006). Para estas pérdidas se puede considerar, que se pone en evidencia un sistema defectuoso de medición, por lo que causa que, no se pueda realizar un proceso de facturación adecuado, en donde no se determinen los puntos de conexión ilegales.

También de acuerdo con De Gracia (2008), esta energía no facturada o que no se encuentra registrada en los puntos de medición, es debido a varias casusas como lo puede ser el hurto de la electricidad, también los errores en la

facturación y por último errores administrativos, con respecto a bases de datos no actualizadas.

7.1.2.1. Criterios para reducir las pérdidas no técnicas

Algunas de las acciones que se pueden sugerir para la disminución de las pérdidas en cuestión, puede ser una capacitación adecuada al personal, para la utilización adecuada del equipo de medición, también puede crearse un área en específico de investigación del fraude y de ser posible, tomar las acciones legales correspondientes, para poder reducir este efecto negativo. (De Gracia, 2008)

7.1.3. Pérdidas fijas y pérdidas variables

Las pérdidas fijas poseen la característica principal de encontrarse siempre presentes, esto sucede desde el momento en el que se energizan las líneas de transmisión y de distribución y en las cuales también se incluyen las de transformación, este tipo de pérdidas siempre se dan aún cuando no exista alguna carga conectada. También en éstas se incluyen los efectos sobre las líneas, tales como, el efecto corona, también las pérdidas por histéresis y las de corrientes parásitas. Mientras que las variables, son el tipo de pérdidas que dependen de la demanda, como lo puede ser el efecto joule en las líneas. (De Gracia, 2008)

7.2. Generación de energía renovable

Según los estudios que fueron realizados por parte del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2014), indican que la

energía renovable puede presentarse de cualquier forma de energía solar, donde puede ser un medio geofísico o biológico, el cual tiene la característica de renovarse constantemente mediante procesos naturales. Estos se obtienen principalmente de los flujos continuos de la energía, que son producidos en el entorno natural y los mismos comprenden a las tecnologías de generación de energía, que poseen baja emisión de carbono, como lo puede ser la energía eólica, la solar, la hidrónica, la mareomotriz, la biomasa y la térmica oceánica.

Por esto se puede decir que, dentro de este medio, se consideran las que son producidas por la naturaleza, a un ritmo constante y sin agotarse. Según Vásquez (2014), es muy importante e indispensable que se apoye la generación por medio de fuentes renovables, lo cual aporta a un ecosistema bien balanceado y además, esto servirá para la corrección que se necesita del cambio climático y lo importante que es la mitigación de los gases de efecto invernadero, los cuales también son emitidos por el sector eléctrico, esto reforzaría la ayuda a un futuro sostenible, con bajas emisiones de CO₂ y gases de efecto invernadero al medioambiente.

7.2.1. Energía por geotérmica

Este tipo de generación de tecnología renovable, aprovecha el calor que emite la tierra, los lugares con mayor actividad volcánica y sísmica, son los que tienen mayor tendencia para la utilización de la misma y esto se debe a que, el calor fluye a través del movimiento de las placas tectónicas.

Para esta generación el vapor, se extrae a través de tuberías hasta la central geotérmica, en donde se pasa a un proceso de conversión de energía mecánica (vapor) a energía eléctrica. Las ventajas de este tipo de generación, es que emite un vapor de agua y no humo, además es un recurso inagotable que

aporta ayuda al medio ambiente. Una de las desventajas más grandes es la inversión inicial, la cual abarca los estudio necesario para medir la factibilidad del proyecto.

7.2.2. Energía por biomasa

El uso de este recurso de generación es muy antiguo, debido a que se considera una de las energías, que más ayuda al medio ambiente para la mitigación del cambio climático; además sus recursos son de origen vegetal o animal por lo que se debe realizar una transformarción al mismo, esto para obtener un biocombustible. Entre sus ventajas principales es la reducción a los costes de la generación y transporte de energía, en conjunto con su versatilidad por el manejo de los desechos. Algunas de su desventajas principales pueden ser la baja densidad energético y su alto coste de inversión inicial.

7.2.3. Energía solar

Este tipo de generación es abundante e ilimitado, esto es debido a que el sol, es considerado la mayor fuente de energía para la Tierra. Es considerado versátil, porque se puede instalar este tipo de generación en cualquier parte del mundo. En este caso se realiza la mención debida a la energía solar fotovoltaica, la cual realiza la función de convertir rayos de luz a través de paneles fotovoltaicos en energía eléctrica, esta es reconocida por su bajo nivel de contaminación.

7.2.4. Energia eólica

Es la generación de energía que se conoce por utilizar como materia prima el viento, es considerada como una energía limpia y que no tiene ningún

efecto contaminante para el medio ambiente, otra de sus carecterísticas principales es que es una fuente de energía inagotable y ocupa poco espacio, además algunas de sus ventajas principales pueden ser el bajo costo de producción y de mantenimiento, no se considera como contaminante para otras actividades y también el terreno donde se ubica la central de generación eólica puede volver a reutilizarse para cualquier otro fin. (Tilca y Mathisson, 2019)

Una de sus desventajas principales es el transporte para la instalación, esto ofrece un grado de complicación por las dimensiones de las torres eólicas y sus aspas, también es importante mencionar que al ser un recurso natural, no se puede tener control sobre él, por lo que su generación es intermitente.

7.2.5. Energía hidroeléctrica

Se reconoce está tecnología, por que utiliza agua para producir electricidad, la cual es almacenada en embalses, posterior a esto es conducida por tuberías y finalmente es utilizada para mover turbinas, las cuales le dan movimiento mecánico al generador eléctrico. La matriz energética guatemalteca tiene más del 50 % basada en este tipo de generación, permite que en época de lluvia el costo de generación sea más barato.

La energía hidroeléctrica posee varios aspectos a considerar, siendo los principales que se localizan muy distantes de los centros de consumo, por lo que tiene un porcentaje de pérdidas considerable, también los estudios que hay que realizar para la puesta en marcha del proyecto tienen un costo elevado. Otro aspecto importante mencionar es que posee un alto rendimiento y una larga vida de operación.

7.3. Generación de energía no renovable

Para este tipo de generación, se puede aclarar que son todas las sustancias que se encuentran presentes en cantidades limitadas en la naturaleza, también se puede decir que se utilizan, de una manera más rápida de la que se producen por lo cual estos se agotan rápidamente.

En la actualidad, la demanda mundial de energía, es producida en gran medida por este tipo de generación. En los cuales se tiene que los más comunes son el petróleo, el carbón, entre otros. También se tiene en consideración que este modelo de desarrollo energético, basado en este tipo de fuentes, llegará pronto a su agotamiento y será sin reemplazo posible, debido a que formarse como tal les ha tomado millones de años.

Se puede considerar que la utilización de fuentes productoras de energía que utilicen carbón, petróleo o gas generan el 65 % de la energía utilizada a nivel mundial aproximadamente. De acuerdo a la Comisión Económica para América Latina (2013), los estudios realizados y los análisis de la evolución que presenta la matriz energética coinciden en señalar que los principales incrementos de esta demanda provendrán de los países que se encuentran en vías de desarrollo. También que se presenta una dificultad para reemplazar este tipo de tecnología durante al menos 20 años más.

7.3.1. Energía por bunker

Este tipo de generación utiliza un combustible residual denominado bunker, el cual se obtiene por medio de un proceso de destilación de materia prima como hidrocarburos.

7.3.2. Energía por diésel

Esta tecnología es formada por unos alternadores conectados en paralelo a un sistema eléctrico, los cuales pueden funcionar por medio de motores de combustión interna, los cuales son normalmente alimentados por diésel. Este tipo de centrales son importantes para la recuperación de eventos donde no exista tensión, lo cual ayuda a poder restablecer rápidamente el suministro de energía eléctrica.

7.3.3. Energía por carbón

Este tipo de tecnología es una planta térmica de combustión de carbón y de petróleo, esta misma posee turbinas de vapor que le sirven para convertir la energía térmica de la combustión en energía mecánica, la cual posterior a esto funciona como un generador eléctrico. En algunos países es poco común la utilización de esta tecnología para generar electricidad, anteriormente se utilizaba con frecuencia, esto debido a que era un combustible abundante y su precio era bastante estable.

7.4. Generación distribuida renovable

Existen varias definiciones acerca de la normativa que posee en vigencia cada país, incluyendo sus regulaciones y la composición de su infraestructura eléctrica. Según la resolución CNEE-227-2014, el cual presenta un normativo que es aplicado al sistema regulatorio de Guatemala, en donde indica que los generadores distribuidos renovables es toda “aquella persona, individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación eléctrica, que utiliza recursos energéticos y participa en la actividad de Generación Distribuida

Renovable” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014, p. 6). Los cuales se consideran participantes del mercado.

También la generación distribuida renovable es la “modalidad de generación de electricidad, producida por unidades de tecnologías de generación con recursos renovables, que se conectan a instalaciones de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior o igual a cinco megavatios (5 MW)” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014, p. 6). Por su parte, para la Comisión Económica para América Latina (2013), la generación distribuida “se define como aquella generación que se encuentra interconectada a un circuito de distribución con altas concentraciones de centros de carga (es decir, cuya capacidad instalada es menor que la demanda del circuito de distribución al que está conectado)” (p. 3).

Figura 4. **Generación Distribuida**



Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2017). *La ley de Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica Pública.*

7.5. Ubicación de las centrales de generación

Las centrales de generación de energía en Guatemala consisten en diferentes plantas, que se encargan de la producir energía para el consumo de los guatemaltecos, regularmente estas centrales generadoras están ubicadas, en las cercanías de la fuente de materia prima para las mismas, como por ejemplo las hidroeléctricas, se encuentran situadas próximas a donde se ubiquen los ríos con un mayor cauce, para poder garantizar su funcionamiento durante un tiempo prolongado.

Estas en ciertos casos también pueden ser ubicadas próximas a las zonas industriales o con el resto de los usuarios finales, donde el consumo de energía es alto. Es por esto que la energía se produce lejos de los usuarios finales, lo que da lugar a que se pueda incurrir en pérdidas de la misma. Para poder disminuir estas pérdidas, es necesario realizar estudios detallados para la ubicación de generadores de energía renovable, actualmente esto se hace mediante simulaciones en softwares especializados, que son capaces de poder determinar de manera rápida y correcta la ubicación efectiva de los mismos y mostrar cual es la capacidad y número de generadores, que deben de instalarse cercanos a la carga más densa del circuito. (Martínez y Mateus, 2022)

7.6. Impacto por la utilización de generación distribuida renovable

Según Ramos (2020), menciona que “la Generación Distribuida, al estar conectada a la red del distribuidor, genera múltiples beneficios a la demanda del sistema donde está directamente conectada, así como al mercado eléctrico en general” (p.p. 10-12). Dichos beneficios pueden estar agrupados en económicos, medioambientales y técnicos que se detallan a continuación:

7.6.1. Emisión de CO₂ y GEI por kW/h

Uno de los temas más importantes en la actualidad, es la emisión de GEI y de CO₂, ya que los mismos tienen la característica de definir la eficiencia de las generadoras contra el medio ambiente según (MEM, 2019), se da una ecuación de los coeficientes de emisión por kWh.

Figura 5. **Coeficiente de Emisión**

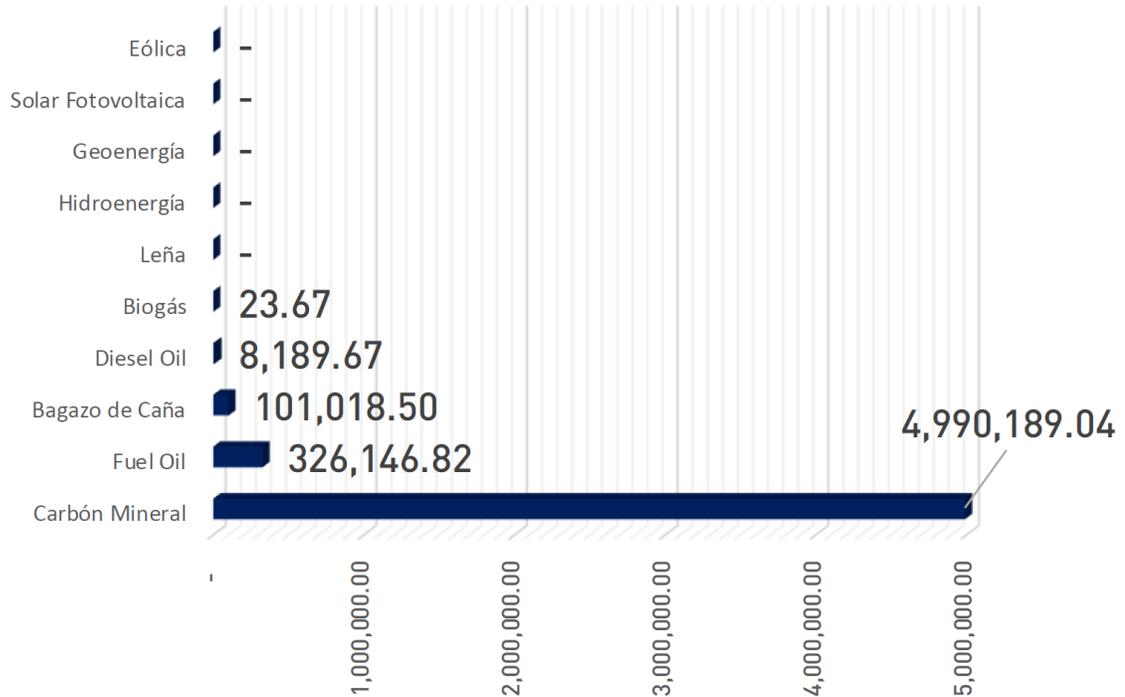
$$\text{Coeficiente de emisión} = \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{KWH}}$$

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2019). *Balance energético 2019*.

En donde los coeficientes son definidos en función de los kg de CO₂, emitidos por kW/h según el tipo de tecnología utilizada para la generación.

Se puede apreciar en el siguiente gráfico de la emisión de GEI, por cada recurso de generación eléctrica dado en toneladas por CO₂, la cual demuestra que las energías renovables, son las que generan un balance entre la oferta de la producción de energía y la seguridad al medio ambiente.

Figura 6. **Emisión de TCo2 por tipo de tecnología en el año 2019**



Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2019). *Balance energético 2019*.

También de acuerdo con (Ramos, 2020), se tiene en cuenta que la de la producción de electricidad a nivel mundial, da una muestra a la tendencia de encontrar proyectos que consideren principalmente la reducción de las emisiones de monóxido de carbono (CO), azufre (SOx) y dióxido de carbono (CO2). De las cuales el que presenta la mayor emisión es el dióxido de carbono, con más del 80 % de todas las partículas que afectan al cambio climático.

La actividad contribuye principalmente a las emisiones de dióxido de carbono, es la generación de energía mediante la quema de combustibles fósiles como los derivados del petróleo y el carbón. Por lo tanto, la reducción de las emisiones contaminantes es necesario realizar una transición energética,

lo cual ayudaría significativamente a poder reducir la contaminación y evitar la utilización de equipos de generación que operen con combustibles fósiles.

7.6.2. Reducción de costos para la expansión de redes de transmisión

El uso de la generación distribuida renovable, tiene la característica de minimizar la construcción de nuevas líneas de transmisión de energía o si fuera el caso de proveer a líneas de transmisión que estén en funcionamiento, de igual forma minimiza los costos necesarios para la inversión, la operación y para el mantenimiento que es necesario para el funcionamiento adecuado de las estructuras. Los beneficios que pueden proporcionar, también incluyen los ahorros que se presenta la demanda total de electricidad, debido a que pueden ser equivalentes a una nueva inversión para algún tramo en específico de una línea de transmisión. (Ramos, 2020)

Es necesario destacar que este implemento de generación no evita que tengan que existir avances en la modernización y la expansión de la red de electricidad, el cual es necesario, esto incluye a las nuevas fuentes de suministro energético y la necesidad de los usuarios finales. Las actualizaciones debidas permiten obtener un uso más eficiente de los recursos, lo cual permite minimizar las pérdidas de energía que son debidas a la transmisión de la misma por largas distancias y esto también fomenta el deseo de innovar utilizando las nuevas tecnologías poder garantizar la continuidad y fiabilidad del servicio energético.

7.6.3. Aumento de la cobertura en el servicio eléctrico

También de acuerdo con Ramos (2020), para este efecto es necesario la inclusión de la generación distribuida renovable, el cual permite poder extender la cobertura de servicio de energía para las áreas remotas, de las diferentes regiones del país y también permite aliviar las condiciones de abastecimiento locales. Otro punto positivo para este tema es que la generación en mención es de accesible adaptación a las condiciones, que se ofrezcan en diferentes lugares en específico en donde se desee implementar, por lo que puede aportar una estabilidad para el sector energético en lugares críticos y de difícil acceso.

7.7. Impacto de la disminución de las pérdidas de energía

Este efecto es considerado el más importante y esto es debido a la inyección directa, que proporcionan los generadores distribuidos renovables a las redes de distribución, permiten minimizar la necesidad de importar energía desde ubicaciones que se encuentren alejadas del usuario final. Por lo tanto, los beneficios directos serían la reducción significativa de estas pérdidas, lo cual daría beneficio a las empresas distribuidoras por el ahorro económico en la distribución de energía, a los usuarios finales por la reducción del costo de la misma y a la demanda energética de forma general. (Ramos, 2020)

Para poder realizar una estimación de las pérdidas técnicas según Salazar, Chusin y Escobar (2015), es necesario indicar que todos los efectos que se encuentran involucrados en la Generación Distribuida Renovable, sobre las pérdidas activas y reactivas, la sobrecarga de las líneas y la congestión de la red puede ser cuantificada por medio de índices, los cuales básicamente exponen la comparación del rendimiento que posee una red en la actualidad y también una red con generación distribuida renovable, los cuales arrojan

resultados positivos para las planificaciones de la toma de decisiones sobre alguna red en específico.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS
ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Clasificación de las pérdidas de energía

2.1.1. Pérdidas técnicas

2.1.1.1. Criterios para reducir las pérdidas
técnicas

2.1.2. Pérdidas no técnicas

2.1.2.1. Criterios para reducir las pérdidas no
técnicas

2.1.3. Pérdidas fijas y pérdidas variables

2.2. Generación de energía renovable

2.2.1. Energía por geotérmica

2.2.2. Energía por biomasa

- 2.2.3. Energía solar
 - 2.2.4. Energía eólica
 - 2.2.5. Energía hidroeléctrica
 - 2.3. Generación de energía no renovable
 - 2.3.1. Energía por bunker
 - 2.3.2. Energía por diésel
 - 2.3.3. Energía por carbón
 - 2.4. Generación distribuida renovable
 - 2.5. Ubicación de las centrales de generación
 - 2.6. Impacto por la utilización de generación distribuida renovable
 - 2.6.1. Emisión de CO₂ y GEI por kW/h
 - 2.6.2. Reducción de costos para la expansión de redes de transmisión
 - 2.6.3. Aumento de la cobertura en el servicio eléctrico
 - 2.7. Impacto de la disminución de las pérdidas de energía
- 3. DATOS BÁSICOS PARA EVALUACIONES
 - 3.1. Fase uno: exploración bibliográfica
 - 3.2. Fase dos: recolección de la información
 - 3.3. Fase tres: determinación de la capacidad instalada
 - 3.4. Fase cuatro: estimación de costos
 - 3.5. Fase cinco: Evaluación de producción de gases contaminantes
 - 3.6. Fase seis: Análisis e interpretación de resultados
- 4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
 - 4.1. Resultados generales
 - 4.2. Resultados específicos
- 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

El estudio de investigación del presente trabajo tiene un enfoque cuantitativo, con un alcance del tipo relacional y sincrónico, también cuenta con un diseño no experimental para la evaluación de las pérdidas de energía en la red eléctrica de Guatemala. Las características que presenta el estudio son las siguientes:

9.1. Características del estudio

A continuación, se presentan las características del estudio.

9.1.1. Diseño

El diseño adoptado para la investigación es un no experimental, debido a que en el estudio del impacto de las pérdidas de energía en la generación eléctrica que se realizará, no se manipularán la ninguna variable, por lo que solo se observará el comportamiento que adoptan las pérdidas de generación de energía que son causadas por la distancia entre los usuarios y los generadores en un tiempo determinado.

Por lo cual la investigación también puede determinarse de tipo longitudinal, debido a que tomarán muestras de la misma población de datos en un periodo de tiempo definido para poder analizar el comportamiento que tienen los mismos. Las distancias entre los usuarios finales y las generadoras serán las variables independientes y las pérdidas de energía serán las variables dependientes.

9.1.2. Enfoque

La investigación propuesta tendrá un enfoque cuantitativo, ya que la misma se refiere a cantidades de datos susceptibles de cuantificar. Serán mediciones de tipo continuo, con relación a datos de porcentajes de pérdidas en la generación y del impacto en la generación de los generadores distribuidos renovables, esto será posible utilizando métodos estadísticos y gráficos para el análisis y la comparación de los datos investigados.

9.1.3. Alcance

El alcance que tendrá este estudio de investigación será del tipo relacional y sincrónico, esto es debido a que se centrará en medir la relación que puede existir, entre las pérdidas en la generación de energía y la distancia que existe entre las mismas y los usuarios finales. La investigación será de tipo documental, ya que se utilizarán bases de datos y se analizarán con respecto a las pérdidas de energía, el impacto de los generadores distribuidos renovables y la evaluación de los gases de efecto invernadero históricos del Administrador del Mercado Mayorista (AMM), Ministerio de Energía y Minas (MEM), Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) y Energuate.

9.2. Unidades de análisis

La población a la que se le realizará el estudio correspondiente será a las pérdidas de energía en la red eléctrica de Guatemala. Esto será correspondiente a las centrales de generación renovables y no renovables, en donde se podrá verificar el impacto que pueden llegar a tener los generadores distribuidos renovables (GDRs), en la red eléctrica a efecto de mitigar las pérdidas de energía; con esto también se medirá el impacto que tienen al medio

ambiente la producción de gases de efecto invernadero.

9.3. Variables

Las variables que se analizarán serán por su naturaleza del tipo continuo y además por su escala de medición serán del tipo razón o proporción. Las cuales se describen a continuación.

Tabla I. **Definición de variables**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Capacidad Instalada de GDRs (MW)	Es la producción de electricidad con instalaciones de menor escala en comparación con las centrales generadoras convencionales renovables y no renovables, su ventaja es poseer fácil conexión a cualquier punto de distribución de una red eléctrica.	Se determinará mediante los informes emitidos por el AMM y EEGSA.
Costo de las pérdidas de energía Q/kWh	Las pérdidas monetizadas definen la eficiencia de una red de energía mediante la diferencia entre la cantidad de energía que ingresa a la red con la que es entregada al usuario final, esto se traduce a un costo extra que se tiene que absorber.	Se determinará mediante los informes emitidos por el AMM, EEGSA y ENERGUATE.

Continuación de tabla I.

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Producción de gases de efecto invernadero KgCo2/kWh	Es la producción de electricidad con instalaciones de menor escala Es la emisión de gases contaminantes que son enviados a la atmósfera y que absorben la energía infrarroja del Sol. Lo cual crea el efecto invernadero y contribuye al aumento de la temperatura global.	Se determinará mediante los informes emitidos por el MEM y el AMM.

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla II. **Definición operativa de las variables**

Variable	Propiedad	Nivel de medición	Dimensiones
Capacidad Instalada de GDRs (MW)	Numérica continua	Razón	Potencia
Costo de las pérdidas de energía (Q/kWh)	Numérica continua	Razón	Potencia Demanda Quetzales
Producción de gases de efecto invernadero (KgCo2/kWh)	Numérica continua	Razón	Coefficiente de emisiones

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

9.4. Fases del estudio

La investigación cumple con un esquema conformado por seis fases para cumplir con los objetivos planteados.

9.4.1. Fase 1: Exploración de bibliografía

En la primera fase se realizará una búsqueda de información acerca del tema de investigación, en donde se consultarán diferentes fuentes bibliográficas que se encuentren relacionadas con la misma, como pueden ser informes nacionales de las diferentes entidades del estado, artículos científicos y trabajos de investigación, los cuales podrán ser utilizados como un fundamento base para realizar el estudio sobre las pérdidas de energía en la red eléctrica de Guatemala, en los generadores renovables y no renovables.

9.4.2. Fase 2: Recolección de la información general

Posterior a haber concluido la primera fase de la investigación se realizará una recopilación de toda la información, que es considerada necesaria y que se encuentra directamente relacionada con las variables, que se tienen en la investigación, para esto se leerán los documentos recopilados y se transcribirán las ideas relacionadas con el tema, para lo cual también se obtendrán los datos obtenidos de los informes públicos.

9.4.3. Fase 3: Determinación de la capacidad instalada

Posterior a terminar las fases generales anteriormente mencionadas, se procederá a investigar cuál es el desarrollo de la capacidad instalada de generación distribuida renovable en la red eléctrica de Guatemala, también se investigará acerca de la integración que ha tenido en los diferentes departamentos del país y como está ha podido crecer conforme al tiempo investigado. Además, se investigará cual es el impacto que pueden dar los generadores distribuidos renovables, a las pérdidas de energía en la red eléctrica de Guatemala.

9.4.4. Fase 4: Estimación de costos

La energía que se genera mediante las fuentes renovables y no renovables de la red eléctrica guatemalteca, que es transportada y distribuida a los usuarios finales y que finalmente no puede ser aprovechada para realizar un trabajo, se considera como una pérdida de energía. Esta energía que no es aprovechada presenta un costo a todos los consumidores de electricidad, por lo que se investigará cual es el costo que esta representa las pérdidas en la red eléctrica de Guatemala.

9.4.5. Fase 5: Evaluación de producción

Posterior a haber investigado lo antes mencionado, es necesario tener un conocimiento claro y amplio, respecto a la producción de gases de efecto invernadero y CO₂, que producen las pérdidas de energía en la red eléctrica de Guatemala, este tipo de gases son contaminantes y el aumento de los mismos afecta a la temperatura global.

9.4.6. Fase 6: Análisis e interpretación de resultados

Posterior a la finalización de las fases anteriores se procederá a realizar un análisis a toda la información obtenida de las variables de estudio, esto con el fin de evaluar el impacto que tienen los generadores distribuidos renovables en la red eléctrica de Guatemala, el costo que representan las pérdidas de energía y el impacto que tiene la producción de gases de efecto invernadero. En donde también se procederá a realizar una interpretación, de toda la información recopilada y analizada en las fases trabajadas con anterioridad, esto con el fin de poder determinar cómo afecta las distancias de las generadoras de energía renovable y no renovable con el usuario final y poder

dar un punto de vista de las causas que fueron investigadas en las fases anteriores.

9.5. Resultados esperados

A continuación, se presentará una tabla que contiene las preguntas de investigación como los objetivos planteados; las fases que responden a cada objetivo y los resultados que se esperan tener para cada uno de ellos.

Tabla III. **Resultados esperados**

Preguntas de investigación	Objetivos	Fases de la investigación	Resultados esperados
Pregunta principal	General	Fases I y II	
¿Cuáles son los factores que provocan pérdidas de energía en las centrales de generación renovables y no renovables en la red eléctrica de Guatemala?	Analizar las pérdidas de energía en la red eléctrica de Guatemala provocadas por la distancia entre los usuarios y los generadores renovables y no renovables de energía eléctrica.	Identificación del problema. Exploración de la información acerca del tema a investigar.	Haber establecido un estudio de análisis a profundidad en la recopilación bibliográfica sobre las generadoras renovables y no renovables del país y estimar como las distancias entre los usuarios finales y las generadoras pueden afectar en las pérdidas de energía.
Auxiliares	Específicos	Fases I y III	
¿Cómo el desarrollo de la generación distribuida renovable puede mitigar las pérdidas de energía en la red eléctrica de Guatemala?	Determinar el desarrollo de la capacidad instalada de la generación distribuida renovable para mitigar las pérdidas en la generación de energía.	Revisión de la bibliografía. Análisis de la capacidad instalada.	Haber determinado cual es el desarrollo que se tiene de capacidad instalada de generación distribuida renovable en el país y observar cual es el efecto que producen sobre las pérdidas en la generación de energía.

Continuación de la tabla III.

Preguntas de investigación	Objetivos	Fases de la investigación	Resultados esperados
Auxiliares	Específicos	Fases II y IV	
¿Cuál sería el costo de la energía eléctrica si se redujeran las pérdidas en la generación renovable y no renovable en la red eléctrica de Guatemala?	Estimar los costos de las pérdidas de energía eléctrica en la generación renovable y no renovable.	Revisión de la bibliografía. Estimación de las pérdidas totales en conjunto con los costos.	Haber determinado cuales son los costos que se producen por la falta de provecho a la energía eléctrica que es generada en las centrales pero que finalmente no es aprovechada y con esto medir las pérdidas monetizadas de energía eléctrica.
¿Cuánta producción de gases de efecto invernadero y CO2 producen las pérdidas de energía en la red eléctrica de Guatemala?	Evaluar la producción de gases de efecto invernadero y CO2 que son producidos por las pérdidas de energía.	Fases II Y V Revisión de la bibliografía. Evaluación de la producción de gases contaminantes	Haber obtenido cual es la producción de gases de efecto invernadero y CO2 que son generadas por las pérdidas de energía en la red eléctrica de Guatemala.

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

A efecto de cumplir con los objetivos planteados en la investigación, es de utilidad detallar las técnicas a utilizar para llevar a cabo el análisis de toda la información obtenida utilizando diferentes técnicas disponibles, para lograr un manejo adecuado de la información. Por ello se plantean los siguientes pasos:

10.1. Recopilación de datos

Se verificarán los diferentes sitios de internet del AMM, CNEE, EEGSA Y ENERGUATE, para poder tener acceso a toda la información necesaria para la elaboración de la investigación.

10.2. Lista de cotejo

La lista de cotejo es una técnica de análisis de investigación, que sirve para poder llevar de una mejor forma el control de los datos obtenidos. Es necesario utilizarlo, debido a que es un instrumento que sirve para verificar o para revisar un proceso, con ciertos indicadores o variables y con esto poder comprobar la revisión del logro o de la ausencia de este.

10.3. Base de datos

Posterior a haber realizado la recopilación de datos en los informes presentados por las diferentes entidades del estado, es necesario proceder a realizar una tabulación de los datos obtenidos y esto es con el fin de poder ordenarlos de una forma adecuada para que puedan ser consultados

fácilmente, para esto se construirá una base de datos en donde se agruparán todos los datos obtenidos. Lo cual permitirá tener la información organizada fácilmente, para después construir gráficas que aporten un mayor valor para la interpretación de resultados.

10.4. Estadística inferencial

El uso de este tipo de estadística es debido a que las herramientas permiten realizar deducciones, proyecciones o comparaciones de la población, en donde solo es necesario estudiar una parte de la misma y esto se realiza por medio del estudio en específico a una muestra.

La estadística inferencial también es muy útil para el análisis poblacional y de tendencias, lo cual permite tener un posible contexto para acciones y reacciones de un grupo de muestras en condiciones específicas. Los resultados de este tipo de estudio brindan una aproximación posible al resultado final y esto permite realizar interpretaciones, conclusiones y recomendaciones sobre las situaciones que fueron planteadas.

Se utilizará la técnica de muestreo probabilístico estratificado, esto debido a que ya se encuentra dividida la población de datos a abordar en subgrupos que poseen condiciones comunes.

10.5. Estadística descriptiva

Para analizar la información se utilizarán técnicas comprendidas dentro la estadística descriptiva, la cual permite utilizar sus herramientas, para poder comprender el comportamiento que pueden llegar a presentar las variables analizadas, a través de medidas de resumen, gráficos y tablas.

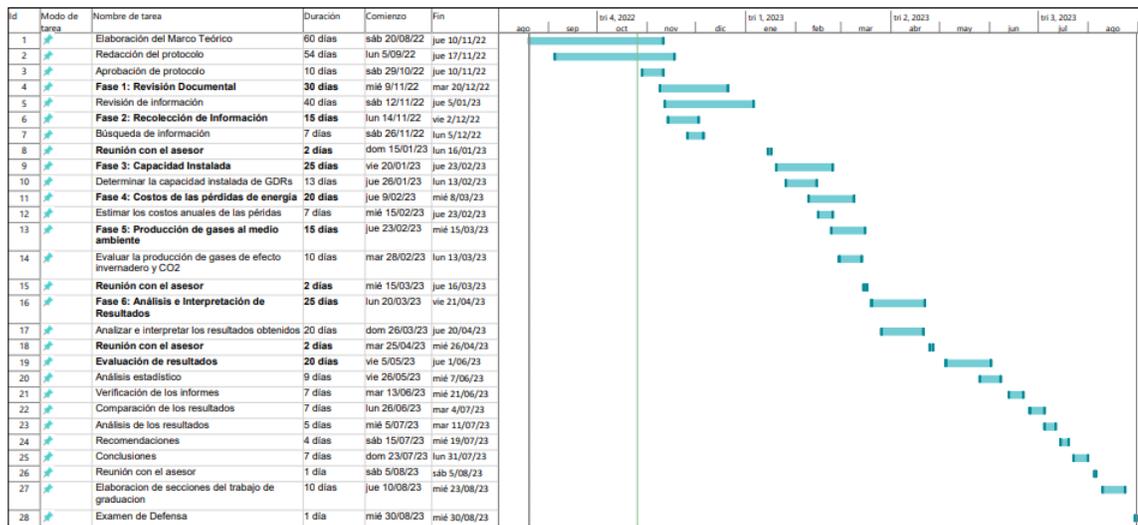
Esta técnica permite relacionar variables categóricas con resultados numéricos, por ejemplo, el porcentaje de pérdidas de energía al año en la red eléctrica de Guatemala, lo cual a su paso da una pauta del costo que llegan a representar a la población. En este análisis se utilizarán diferentes tipos de medidas como lo son los gráficos y los diagramas.

El uso de esta técnica permitirá determinar valores percentiles sobre variables cuantitativas, también observar las frecuencias con las que las mismas se presentan en algunas de las variables estudiadas de las poblaciones en estudio, pero, en especial permitirá el desarrollo de gráficos como diagramas de barras y circulares que serán de utilidad para una mejor interpretación de los resultados obtenidos.

11. CRONOGRAMA

A continuación, se presenta el cronograma de la ejecución del trabajo de investigación a desarrollar.

Figura 7. Cronograma de la investigación



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Project.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El siguiente trabajo de investigación es factible, debido a que se cuenta con todos los recursos necesarios, para la realización del mismo y con financiamiento propio. Los recursos se describen a continuación:

- **Recurso humano:** Se cuenta con el recurso humano necesario, el cual se encuentra conformado por el estudiante de la Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados y la colaboración del asesor.
- **Recursos tecnológicos:** Los recursos tecnológicos y herramientas utilizadas están contenidas dentro de los paquetes de office de la computadora del estudiante, así como internet para obtener acceso a los documentos requeridos.
- **Servicios y equipo:** Se cuenta con energía eléctrica y con los materiales necesarios.
- **Permisos o autorizaciones:** Para esta investigación no hay necesidad de solicitar permisos para el acceso a la información deseada debido a que la misma es de acceso público y gratuito.
- **Acceso a información:** La información utilizada para el desarrollo del trabajo de investigación está conformada por información de acceso público, bases de datos del Administrador del Mercado Mayorista, Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Empresa Eléctrica de

Guatemala y la Distribuidora de Electricidad de Oriente y Occidente, así como todas las referencias para el desarrollo del marco teórico.

A continuación, en la tabla IV se presenta un detalle de los gastos que se proyectan para la realización del estudio.

Tabla IV. **Gastos del estudio**

Recurso	Costo estimado	Fuente de financiamiento
Honorarios del asesor	Q3,500.00	Por parte del estudiante
Honorarios del estudiante	Q3,000.00	
Recopilación de documentos del asesor	Q100.00	
Material de estudios	Q200.00	
Impresión del documento	Q500.00	
Internet	Q600.00	
Energía Eléctrica	Q300.00	
Imprevistos	Q300.00	
Subtotal	Q8,500.00	
Aporte del asesor (-)	Q3,500.00	Por parte del asesor
Aporte de honorarios del tesista (-)	Q3,000.00	Por parte del estudiante
Total	Q2,000.00	Por parte del estudiante

Fuente: elaboración propia, elaborado con Excel.

Para el desarrollo de la investigación se necesita un total del Q2 000.00. Si se dispone de los recursos necesarios para el desarrollo del mismo, siendo estos por financiamiento del estudiante; por lo que la investigación es factible.

13. REFERENCIAS

1. Bazurto Cubillos, A. J., Zúñiga Balanta J., Echeverry D. F., Lozano C. A. (2016). Perspectiva del transformador de distribución en redes eléctricas con alta penetración de generación distribuida y vehículos eléctricos. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26(2), 35-48.
DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1710>
2. Comisión Económica para América Latina. (2013). *Energía: Una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina y el Caribe*. CAF.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/1505/1/Energia_CAF_CEPAL.pdf
3. Comisión Nacional de Energía. (2014). *Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y usuarios auto productores con excedentes de energía NTGDR*.
DOI:
<https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/08%20NTGDR.pdf>
4. Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales. (2013). *Programa de Rehabilitación de Redes Eléctricas*.
DOI: <https://redeselectricasrd.cdeee.gob.do/areas-de-gestion/rehabilitacion-de-redes/>

5. De Gracia Navarro, R. (2008). *La eficiencia en las redes: Niveles de Pérdidas*. Panamá: Energía y Regulación en Iberoamérica (p.p. 221-236). Recuperado de: <https://www.ariae.org/sites/default/files/201705/La%20eficiencia%20en%20las%20redes%20niveles%20de%20p%C3%A9rdidas%20y%20reducci%C3%B3n%20de%20fraude%20energ%C3%A9tico.pdf>
6. De Oliveira de Jesús, P. (2017). *Impacto de las Políticas Nacionales de Inversión de Eficiencia Energética, Integración de Tecnologías Limpias y Redes Inteligentes en la Matriz Energética Eléctrica y la Reducción de las Emisiones de CO2 del Sector Eléctrico de América Latina y el Caribe*. Colombia: Universidad de los Andes. Recuperado de: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/48041>
7. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2014). *Guía Metodológica: Uso y acceso a las energías renovables en territorios rurales*. IICA, San José, Costa Rica. Recuperado de: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11565>.
8. Larios Vásquez, A. (2014). *La energía renovable en México: perspectivas desde el Balance Nacional de Energía 2012*. México: Revista *Economía Informa*, N° 385, pp. 90-99. Recuperado de: <http://www.economia.unam.mx/assets/pdfs/econinfo/385/07lariosvazquez.pdf>

9. Martínez C., Mateus, R. (2018). *Localización óptima de fuentes de generación distribuidas en un sistema de distribución*. Bogotá, Colombia: Universidad de la Salle. Recuperado de:
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/629/
10. Ministerio de Energía y Minas. (2019). *Balance Energético 2019*.
<https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/11/BALANCE-ENERGETICO-2019-1.pdf>
11. Ministerio de Energía y Minas. (2019). *Plan de Expansión del Sistema de Generación y Transporte*.
<https://www.mem.gob.gt/wpcontent/uploads/2020/01/Plan%20de%20Expansio%CC%81n%20del%20Sistema%20de%20Generacio%CC%81n%20y%20Transporte%202020-2034.pdf>
12. Narváez Mesa, G. (2019). *Las Energías Renovables en España y su Impacto Económico*.
<https://idus.us.es/handle/11441/108247>
13. Ochoa Osorio, J. (2006). *Estimación de pérdidas técnicas en el sistema de la Empresa Eléctrica Municipal de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos*. Ciudad de Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0586_EA.pdf
14. Ramos, E. (2020). La generación distribuida: El camino hacia la producción descentralizada de electricidad y pautas para su reglamentación. *Forseti, Revista de Derecho*. Vol. 8, N° 11, pp. 07-35. <https://doi.org/10.21678/forseti.v8i11.1255>

15. Sacayon, E. E. (2018). *Perfil Energético de Guatemala, Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
16. Salazar, G.B., Chusin, L. y Escobar, S. (2015). *Análisis de confiabilidad de sistemas de distribución eléctrica con penetración de generación distribuida*. *Revista Politécnica*, 36(1), 35. https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/508
17. Tilca, F. y Mathisson, J. F. (2019). *Producción de Energía de Parques Eólicos: Estudio de Caso de Pérdidas e Incertidumbres en las Probabilidades de Excedencia*. *Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente*, 26(1), 1-8. <https://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2020/06/Tilca-F.pdf>
18. Toykin, C. R. (2020). *Análisis de las Pérdidas de Energía Eléctrica en la Red de Distribución para Mejorar el Estado Financiero en la subestación SED E410296 – 160 kVA – Concepción* (tesis de maestría). Universidad del Centro del Perú, Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7790>
19. Treballe, D.T., Marín, P.F., Maza Ortega, J.M. y Martínez Ramos, J. L. (2012). *El control de tensión en redes de distribución con Generación Distribuida (I)*. *Revista Anales de Mecánica y Electricidad*, N° 13, pp. 21-28. https://revista-anales.icaei.es/web/n_13/pdf/seccion_3.pdf

20. *TRECSA. (2022). Los beneficios de la expansión y modernización de la red eléctrica.*

<https://www.trecca.com.gt/noticias-informacion-corporativa/los-beneficios-de-la-expansion-y-modernizacion-de-la-red-electrica/>