



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN PARA LA MEJORA DE LA
EFICIENCIA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA
MUNICIPAL DE SAN MARCOS**

Pablo Rodrigo González Bravo

Asesorado por Msc. Ing. Marcos Alberto González

Guatemala, mayo de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN PARA LA MEJORA DE LA
EFICIENCIA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA
MUNICIPAL DE SAN MARCOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

PABLO RODRIGO GONZÁLEZ BRAVO
ASESORADO POR MSC. ING. MARCOS ALBERTO GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MAYO 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 Vladimir 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. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Snell Chicol Morales
EXAMINADOR	Ing. Mario Alberto Reyes Calderón
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA MUNICIPAL DE SAN MARCOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 15 de octubre de 2022.

Pablo Rodrigo González Bravo



EEPFI-PP-2120-2022

Guatemala, 17 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 DEL PLAN DE GESTIÓN PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA MUNICIPAL DE SAN MARCOS**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Energía Aplicada - Uso Eficiente de la Energía - Pérdidas en los sistemas eléctricos**, presentado por el estudiante **Pablo Rodrigo González Bravo** carné número **201800727**, 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 Energía Y Ambiente.

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.

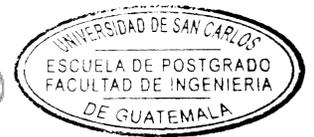
Atentamente,

"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 Alvaréz Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-1730-2022

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 DEL PLAN DE GESTIÓN PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA MUNICIPAL DE SAN MARCOS**, presentado por el estudiante universitario **Pablo Rodrigo González Bravo**, 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

A handwritten signature in black ink, followed by a circular official stamp. The stamp contains the text: "UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA", "DIRECCIÓN ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA", and "FACULTAD DE INGENIERIA".

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

Guatemala, noviembre de 2022



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.7.2023

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 DEL PLAN DE GESTIÓN PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA MUNICIPAL DE SAN MARCOS**, presentado por: **Pablo Rodrigo González Bravo** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado digitalmente por AURELIA ANABELA CORDOVA ESTRADA Fecha: 31/05/2023 09:52:06 a.m. Razón: Orden de impresión Ubicación: Facultad de Ingeniería, USAC.

Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
Decana



Guatemala, mayo de 2023

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2023 Correlativo: 7 CUI: 3300044921201

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser la luz en mi vida y permitirme concluir esta gran meta.
- Mis padres** Jairo González y Patricia Bravo, por su gran ejemplo de vida, su amor y su apoyo incondicional.
- Mis hermanos** Eduardo, Daniel y Diego González, por ser mis compañeros de vida y apoyarme incondicionalmente.
- Mi abuela** Rosa María de León (q.e.p.d.), por su amor incondicional y lecciones de vida.
- A mi** Por no darme por vencido en ningún momento.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de acceder a una educación digna, y adquirir una mejor forma de entender la vida.
Facultad de Ingeniería	Por permitirme adquirir el valor del esfuerzo, mérito y sacrificio.
Mi familia	Por todo el apoyo y la confianza depositada en mí.
Mis amigos	Por todo el apoyo y las enseñanzas a lo largo de la carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.1. Contexto general	7
3.2. Descripción el problema	7
3.3. Formulación del problema	8
3.4. Delimitación del problema	9
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos	13
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Empresa eléctrica municipal de San Marcos.....	17

7.1.1.	Reseña histórica de la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos	17
7.1.2.	Marco regulatorio.....	18
7.1.3.	Área de Concesión.....	19
7.2.	Red de distribución eléctrica	19
7.2.1.	Conformación de una red de distribución	20
7.2.2.	Equipos de un sistema de distribución	21
7.2.3.	Clasificación de un sistema de distribución	21
7.2.3.1.	Por su construcción	22
7.2.3.1.1.	Aéreas	22
7.2.3.1.2.	Subterráneas.....	22
7.2.3.2.	Por su ubicación	22
7.2.3.2.1.	Urbanas.....	23
7.2.3.2.2.	Rurales	23
7.2.3.3.	Por su tipo de carga	23
7.2.3.3.1.	Residencial.....	23
7.2.3.3.2.	Comercial	24
7.2.3.3.3.	Industrial.....	24
7.2.3.3.4.	De alumbrado público	24
7.2.3.3.5.	Mixta.....	24
7.3.	Parámetros técnicos.....	25
7.3.1.	Carga.....	25
7.3.1.1.	Carga instalada	25
7.3.1.2.	Densidad de carga	26
7.3.2.	Potencia	26
7.3.2.1.	Capacidad de potencia actual	27
7.3.2.2.	Capacidad de potencia por servicio.....	27
7.3.2.3.	Potencia reactiva del sistema	27
7.3.3.	Voltaje	28

	7.3.3.1.	Estabilidad	29
	7.3.3.2.	Precisión	29
	7.3.4.	Pérdidas.....	30
	7.3.4.1.	Pérdidas técnicas.....	31
	7.3.4.2.	Por falta de mantenimiento	32
	7.3.4.3.	Por mal dimensionamiento.....	34
	7.3.4.4.	Pérdidas no técnicas.....	34
7.4.		Eficiencia	35
	7.4.1.	Estabilidad	36
	7.4.1.1.	Continuidad del servicio.....	37
	7.4.1.2.	Tiempo de respuesta ante fallos	37
	7.4.1.3.	Capacidad de respuesta ante fallos.....	37
	7.4.2.	Cobertura.....	37
	7.4.3.	Demanda actual.....	38
	7.4.4.	Proyecciones de la demanda.....	39
7.5.		Plan de gestión	39
	7.5.1.	Mantenimiento	40
	7.5.1.1.	Mantenimiento preventivo	40
	7.5.1.2.	Mantenimiento correctivo	41
	7.5.2.	Planificación.....	41
	7.5.3.	Innovación	42
8.		PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	45
9.		METODOLOGÍA.....	49
	9.1.	Clase de diseño.....	49
	9.2.	Tipo de estudio	49
	9.3.	Alcance del estudio.....	50
	9.4.	Fases del estudio.....	51

9.4.1.	Fase 1: revisión bibliográfica	52
9.4.2.	Fase 2: obtención de datos reales de la red.....	52
9.4.3.	Fase 3: análisis de datos.....	53
9.4.4.	Fase 4: propuesta de cambios y directrices	53
9.4.5.	Fase 5: elaboración del plan de gestión	54
9.5.	Resultados esperados.....	54
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS.....	57
10.1.	Bases de datos.....	57
10.2.	Estadística descriptiva.....	58
11.	CRONOGRAMA	61
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	63
13.	REFERENCIAS	65
14.	APÉNDICE.....	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de sistemas de distribución dentro de un sistema eléctrico de potencia.....	20
2.	Triángulo de potencia.....	28
3.	Eficiencia.....	36
4.	Ejemplo de porcentaje de pérdidas.....	59
5.	Cronograma de actividades	61

TABLAS

I.	Variables e indicadores.....	51
II.	Ejemplo base de datos.....	58
III.	Recursos financieros necesarios para la investigación.....	64

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
ca	Corriente alterna
FP	Factor de potencia
f	Frecuencia eléctrica
Hz	Hertz
kV	Kilo - voltio
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio - hora
%	Porcentaje
Q	Quetzales
V	Voltaje

GLOSARIO

Amperio	Unidad de medida de la corriente eléctrica.
Calidad	Valoración del correcto cumplimiento de expectativas de un servicio o producto.
Carga	Cantidad total de energía requerida por uno o varios usuarios.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Costo	Gasto económico requerido para la adquisición de un bien, producto o servicio.
Demanda	Cantidad de potencia requerida en un instante de tiempo en un sistema eléctrico de potencia.
EEMSM	Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos.
Eficiencia	Cumplimiento de resultados utilizando la menor cantidad de recursos posibles.
Gestión	Acción o trámite que, junto con otros, se lleva a cabo para conseguir o resolver una cosa.

Mantenimiento	Conservación de una cosa en buen estado o en una situación determinada para evitar su degradación.
NTSD	Normas Técnicas del Servicio de Distribución.
Pérdidas	Diferencia entre la entrada de energía a un sistema y su salida.
Potencia	Cantidad de energía por unidad de tiempo transmitida en un sistema eléctrico.
Red de distribución	Conjunto de elementos o dispositivos eléctricos que permiten el acceso de la energía hasta los lugares de consumo.
Usuario	Cliente o persona que demanda el servicio de energía eléctrica.
Vatio	Unidad de potencia, de símbolo [W], que equivale a la potencia capaz de conseguir la producción de energía igual a 1 julio por segundo.
Voltio	Unidad de medida del potencial eléctrico [V].

RESUMEN

Actualmente la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos opera sin directrices bien establecidas para lograr una mejor gestión de la red de distribución de energía que posee. Una red de distribución como muchos otros tipos de redes eléctricas requieren de un mantenimiento, planificación y readecuación constante para lograr permitir que se preste un servicio eléctrico de calidad. Esto se logra mediante la profesionalización de las empresas que operan la red, y para ello también se requiere de una inversión inicial.

Mediante esta investigación se pretende brindar un aporte técnico a la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos, para que se puedan tomar acciones que permitan gestionar la red de una manera más eficiente, con esta propuesta se pretenden brindar las directrices necesarias para lograr una mejora sustancial en la calidad del servicio prestado a los usuarios marquenses.

El trabajo de investigación estará compuesto por cuatro fases principales y elementales, el punto de partida es una revisión bibliográfica acerca de las redes de distribución así como las tecnologías y conceptos emergentes que pueden implementarse en el medio, posteriormente se pretende realizar una recolección de información técnica sobre la red, para ello se contará con el apoyo de la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos, se requerirán datos de pérdidas, incluyendo datos característicos de la cantidad de usuarios en la red, y el crecimiento de la carga a lo largo del tiempo.

Con esta información se pretende realizar una inspección y análisis del estado actual de la red, de tal manera que se puedan obtener conclusiones

técnicas acerca de las acciones que son necesarias para la mejora en el funcionamiento de esta. Se partirá analizando la cantidad de pérdidas con las que cuenta el sistema, se seguirá con el análisis de las proyecciones de crecimiento de carga que se tendrán en la red y finalmente se realizará una inspección sobre la red de alumbrado público para proponer mejoras en esta, y lograr brindar un servicio de alumbrado público de calidad para el municipio.

La propuesta de acciones se englobará en una serie de mejoras técnicas sugerir, esperando que puedan implementarse en el menor tiempo posible, de esta manera se puede iniciar con un proceso de profesionalización de la empresa, que permita que crezca económicamente, para poder invertir más recursos económicos en la red, y se logre brindar un servicio de mayor calidad. Esto permitirá a su vez que la empresa genere mayores ingresos, que podrán ser invertidos por la Municipalidad de San Marcos para el desarrollo del municipio.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de transmisión de energía eléctrica desde su generación hasta su consumo lleva consigo una serie de etapas previas para que sea posible, cada una de estas etapas como lo son la generación, transmisión y distribución poseen características técnicas particulares. Sin embargo, en cada una de estas etapas existe un porcentaje de la energía que se pierde, debido al funcionamiento mismo de los dispositivos o a aspectos externos, que están relacionados con el diseño, la operación y el mantenimiento de cada sistema.

Actualmente la red de distribución de energía eléctrica en el municipio de San Marcos es propiedad de la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos, y según datos de la CNEE obtenidos en el año 2021, en su encuesta de calidad del servicio de energía eléctrica realizada a un porcentaje de sus usuarios, el 75.91 % está satisfecho con la calidad del servicio, dejándola en el puesto 13 de 17 empresas distribuidoras.

Este dato puede tener una interpretación importante en cuanto a la gestión de la red se refiere, no se está percibiendo un servicio de calidad por parte de los usuarios y esto es debido a múltiples factores tanto técnicos, económicos, comerciales y logísticos.

Dentro de los aspectos técnicos que limitan la calidad del servicio se enmarca el estado actual de la red de distribución, la cantidad de pérdidas que se tienen en el sistema, la calidad y estado actual de los elementos eléctricos necesarios para la operación de la red, entre otros.

En esta investigación se pretende crear un plan de gestión para la mejora de la eficiencia de la red, haciendo especial énfasis en la reducción de pérdidas en el sistema, la realización de planes para estudios de expansión, la caracterización de los estudios eléctricos requeridos y finalmente la evaluación del sistema de alumbrado público.

Una mala gestión tiene repercusiones importantes tanto para la empresa distribuidora como para el usuario, por un lado, si no se tiene una buena gestión de la red, se tendrán grandes pérdidas económicas para el distribuidor, lo que reducirá la capacidad técnica de la administración de la red, esto hará que se tenga un servicio de menor calidad por la falta de inversión y finalmente, el usuario tendrá un servicio de energía eléctrica inestable, poco confiable y de mala calidad. Por ello es de suma importancia que se inicie un proceso de gestión técnica de la red.

Mediante el desarrollo de esta investigación se espera principalmente caracterizar las pérdidas del sistema, proponer la realización de estudios eléctricos y de expansión del sistema y finalmente brindar propuestas para la mejora en la red de alumbrado público, todo ello con el fin de lograr brindarle un mejor servicio de energía eléctrica al usuario marquense y también mejorar los ingresos económicos de la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos.

Para la realización de esta investigación se plantea una investigación bibliográfica previa, relacionada con las redes de distribución eléctrica, contemplando las nuevas tecnologías implementadas, posteriormente una fase de obtención de información técnica de la red, además de una visita de campo para la inspección cualitativa de la red, posteriormente el análisis de estos datos para finalizar planteando soluciones o directrices que permitan mejorar la gestión de la red.

2. ANTECEDENTES

Recientemente en el municipio de San Marcos, al igual que en el resto de los municipios del país, se ha visto un incremento considerable de las cargas que deben cubrir los sistemas eléctricos de distribución debido al incremento en la población y por ende en los servicios, obligando en todos los aspectos a las empresas de distribución a mejorar en aspectos técnicos, de logística y administrativos.

La eficiencia operativa de un sistema de distribución puede determinarse mediante el control de la calidad del servicio, la calidad del producto técnico y la calidad comercial. Con estos tres parámetros elementales que son dispuestos por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, ente regulador del sector eléctrico nacional.

Según la encuesta de calidad hecha por la CNEE (2021) en la cual es posible medir la percepción de los usuarios en cuanto a la calidad del servicio de energía eléctrica, evaluando las tres características principales mencionadas, la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos, se posicionó en el puesto 13 de 19 empresas eléctricas de distribución, con un promedio de satisfacción del 75.91 % resaltando que el resultado para la calidad del producto técnico en la fase crítica del año fue de 50.11 %. Un resultado bastante bajo.

De acuerdo con López (2018) una de las características más importantes a considerar en un sistema de distribución es el control de las pérdidas generadas en la misma, técnicas y no técnicas, resalta que la rápida localización de las fallas

en la red permite que la red sea estable, logrando mejorar la calidad del servicio reduciendo en la mayor medida de lo posible las interrupciones del servicio.

En cuanto al dinamismo de la red, Arias (2017) menciona que los sistemas actuales de distribución de energía eléctrica no cuentan con la capacidad de dinamismo que es requerido para la integración de generadores distribuidos renovables y es importante que se planifiquen las redes de distribución para incrementar la capacidad de dinamismo de estas.

Kundur (1994) en su investigación hace especial énfasis en los parámetros y características que permiten que una red de distribución de energía pueda sea confiable, específicamente manteniendo la calidad y niveles del voltaje durante el funcionamiento regular de la red, además de que luego de que se detecte una falla en la red, pueda ser liberada en el menor tiempo posible y de esta manera mantener el balance de la potencia en el sistema eléctrico.

Según López (2018), el constante crecimiento de los sistemas eléctricos de potencia pone en estrés funcional a los actuales ramales que conforman un sistema de distribución, esto incrementa la probabilidad de fallo que pueden ser causados por fenómenos naturales como lluvias, tormentas, rayos, nieve, entre otros. Además de que existe la posibilidad de tener fallos por el desgaste o el envejecimiento de los aislamientos del sistema, el mal funcionamiento de los equipos de protección, el mal estado de los transformadores o en algunos casos los cortocircuitos causados por objetos externos a la red.

Esto puede evitarse si se cuenta con una correcta planificación de expansión de la red y un correcto plan de administración de esta, en la que se puedan realizar mantenimientos preventivos de manera regular, y se estudie el

estado de la red de distribución constantemente para obtener datos que permitan tomar decisiones en beneficio de la mejora de la eficiencia técnica.

De acuerdo con Jaime, Cabrera, Miraglia y de la Fé (2009), cuando una falla ocurre en un sistema eléctrico de potencia, para que se tenga una respuesta adecuada, es necesario que se recurra a un protocolo de respuesta, que permita detectar de manera más fácil, la zona en donde ha ocurrido la falla, este protocolo debe ser elaborado en base a las experiencias que se tengan y en base a los datos técnicos con los que se cuenta.

En un sistema de distribución de medio voltaje los dispositivos que actúan de manera automática únicamente son los interruptores de cabecera, ya que el resto de los equipos de desconexión son operados de manera manual y únicamente pueden estar en dos estados, apertura o cierre, debido a esto se tienen pérdidas de tiempo de respuesta, además de pérdidas de energía.

Esto abre paso a una característica con la que deben de contar las redes de distribución para la mejora de su eficiencia, y es la posibilidad de contar con datos de medición en tiempo real y en puntos estratégicos, porque sin datos de medición no se tienen información suficiente que permita tomar decisiones sobre la red.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

Mediante las encuestas de la calidad del servicio de distribución de la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos, se ha detectado que en el año 2021 se posicionó en el puesto 13 de 19 empresas distribuidoras, lo que deja en evidencia la falta de eficiencia de la red, resaltando la eficiencia técnica de la misma. Para gestionar de manera eficiente la red, es necesario realizar un análisis del estado técnico actual y posteriormente proponer directrices que permitan una mejor gestión de esta, mediante modificaciones en los dispositivos eléctricos y mecánicos.

El crecimiento constante de usuarios que requieren del servicio pone a prueba las capacidades de la empresa, generando una exigencia de planificación técnica, administrativa y comercial. La propuesta de gestión eficiente debe de ser el punto de partida para la preparación y estudio constante del sistema en sus futuras expansiones.

3.2. Descripción el problema

Para gestionar de manera eficiente la red, es necesario realizar un análisis del estado actual del servicio, con especial atención en los aspectos técnicos. La ineficiencia es debida principalmente a la falta de profesionalización e inversión en la administración de dicha red. El constante crecimiento de los usuarios y por ende de la carga, exige mejoras en infraestructura, además de los métodos de planificación de mantenimiento, expansión y auditoría técnica.

Dentro de los problemas más importantes con los que se cuenta actualmente es que es inexistente un sistema de medición y monitoreo de la red, dificultando en gran medida la detección temprana de fallos en esta, de manera similar la localización de los principales puntos de pérdidas técnicas y no técnicas.

3.3. Formulación del problema

La falta de profesionalización, inversión y un sistema de medición y monitoreo adecuado dificulta la gestión eficiente de la red. Se requiere analizar el estado actual del servicio, prestando atención a los aspectos técnicos, para mejorar la infraestructura, planificación de mantenimiento y expansión, y detectar tempranamente fallas y puntos de pérdidas técnicas y no técnicas. Se describen las consideraciones necesarias.

- **Pregunta central**

¿Cuenta actualmente la EEMSM con un plan de gestión técnica eficiente para la red de distribución de energía?

- **Preguntas auxiliares**

- ¿Se detectan actualmente las principales causas de pérdidas en la red de distribución?
- ¿Se realizan planificaciones de crecimiento de la demanda de usuarios para preparar la red de distribución?

- ¿Actualmente se desarrollan estudios eléctricos de manera constante para la mejora de la operación técnica de la red?
- ¿La red de alumbrado público es eficiente y posee una amplia cobertura?

3.4. Delimitación del problema

Para que un sistema de distribución sea eficiente, es importante considerar múltiples aspectos aparte de los aspectos técnicos, comerciales, económicos, organizacionales, tecnológicos, entre otros. Todos ellos en conjunto logran conformar la eficiencia de una red, en esta investigación se pretende indagar en los aspectos técnicos, que son los más importantes para el correcto funcionamiento de dicha red.

Se detectarán las principales causas de las pérdidas energéticas, se pretende proponer una planificación constante del crecimiento de las cargas, de manera análoga proponer los principales estudios eléctricos que deben de realizarse constantemente en la red, finalmente se realizará una inspección en la red de alumbrado público, para la propuesta de las mejoras que se requieran.

4. JUSTIFICACIÓN

Un sistema eléctrico de potencia está conformado por varios subsistemas que permiten en conjunto que se pueda emplear este recurso en los hogares. Uno de los elementos a los cuales se le ha dado menor importancia en el medio es a la red de distribución, debido a la falta de inversión y profesionalización de muchas de estas redes. En el municipio de San Marcos la red es administrada por la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos.

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica mediante su facultad de ente regulador del sector eléctrico nacional, en su calificación de calidad anual, ha determinado que la población percibe el servicio de energía eléctrica con un 75.91 % en el año 2021.

Por ello es necesario que se realice un plan de gestión eficiente, que permita ser el inicio de una administración técnica eficiente de la red y de esta manera reducir las pérdidas energéticas, obteniendo mejores ingresos económicos para la empresa y un servicio de mejor calidad para la población.

Dentro de las líneas de investigación de la maestría de Energía y Ambiente, esta investigación se ubica en el Área Energética, Gestión y uso Eficiente de la Energía, específicamente en el uso eficiente de la energía en el sector industrial y comercial.

Considerando que lo que se pretende es emplear de manera eficiente el uso de la energía eléctrica específicamente en una red de distribución.

No está de más resaltar que el uso eficiente de la energía, trae consigo una serie de beneficios para el distribuidor y para el usuario, desde una red más estable, con mejores ingresos económicos, hasta la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, todos estos beneficios se pueden obtener a través de una gestión adecuada de este recurso tan importante en la sociedad actual.

Se pretende entonces desarrollar un plan de gestión para la mejora de la eficiencia de una red de distribución eléctrica de la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos, que permita tener las directrices generales para poder administrar de manera adecuada la red, con esto se logrará ofrecer un mejor servicio, beneficiando a los usuarios finales, en su mayoría población del municipio de San Marcos.

Este plan estará centrado en cuatro aspectos que son considerados los más importantes para la administración de la red, estos son:

- La identificación de las principales causas de pérdidas
- La propuesta de la incorporación de estudios de expansión de la red
- El desarrollo constante de estudios eléctricos
- La evaluación del servicio de alumbrado público

El beneficio es para ambas partes que están involucradas en el desarrollo de esta actividad de distribución de energía eléctrica. Por un lado, la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos, al incrementar la eficiencia en el proceso de compra y venta de energía, podrá percibir mejores ingresos que a su vez serán utilizados para el desarrollo de nuevos proyectos en la red. El usuario final, podrá contar con un servicio mucho más robusto, de calidad y a un precio adecuado. Todo ello partiendo desde la implementación de este plan de gestión.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Proponer un plan de gestión técnica para la mejora de la eficiencia en la red de distribución de energía de la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos.

5.2. Específicos

- Detectar las principales causas de pérdidas en la red de distribución.
- Plantear el desarrollo de planificaciones de crecimiento de la demanda de usuarios para preparar la red de distribución.
- Establecer las bases para el desarrollo de estudios eléctricos constantes para la mejora de la operación técnica de la red.
- Analizar el estado actual de la red de alumbrado público en cuanto a eficiencia y cobertura.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Se pretende mediante esta investigación, la propuesta de directrices técnicas mediante la realización de un plan de gestión eficiente que permita ser un punto de partida para un nuevo sistema de administración técnica de la red, reduciendo las pérdidas que se presentan en esta y por ende incrementar la eficiencia operativa.

Se consideran los que se creen que son los cuatro temas clave, en los que se puede iniciar con una correcta gestión de la red, estos enmarcan:

- La detección de las principales causas de las pérdidas
- La planificación de expansión de la red
- Los estudios eléctricos que se deben de realizar de manera periódica
- La inspección de la red de alumbrado público

La elaboración del plan de gestión se inicia con una investigación sobre los fundamentos de operación de las redes de distribución, las tecnologías de gestión actuales, dispositivos de control y acción, modelos de gestión de redes inteligentes y las posibilidades de aplicación en el medio.

Posteriormente será necesario realizar una inspección técnica de la red en la actualidad, además de realizar una recopilación de los datos técnicos con los que se cuenten y con esto se iniciará la identificación de los principales problemas y finalmente se plantearán soluciones para contrarrestar todos los aspectos que contribuyen con la ineficiencia de la red.

En el medio nacional son escasas o no hay directrices bien fundamentadas para la correcta administración de una red de distribución por parte de las empresas eléctricas municipales, ello, la realización de esta investigación puede ser un punto de partida para la incursión en el ámbito de la realización de estudios eléctricos en las redes de distribución, se pretende aplicar tecnologías y conceptos emergentes, que, al incorporarse puedan reflejar una mejora considerable en la eficiencia de la red.

Tomando en cuenta que la maestría de Energía y Ambiente abarca dos grandes ramas de estudio la rama energética y ambiental, es un tema que incorpora ambos aspectos, al mejorar la eficiencia energética de la red, se reducen las pérdidas y por ende las emisiones que están relacionadas con la generación de energía eléctrica, reduciendo el impacto ambiental.

Aparte de considerar temas energéticos y ambientales, considera temas técnicos específicamente en la rama de la ingeniería mecánica eléctrica, en relación con las redes de distribución. Con la propuesta del plan de gestión se pretende generar una propuesta para reducir el consumo en pérdidas y con a ello reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, disminuyendo el impacto en el calentamiento global.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Empresa eléctrica municipal de San Marcos

Como indica la página de la Municipalidad de San Marcos (2021):

La empresa Eléctrica Municipal de San Marcos fue creada el 24 de julio de 1957, en el Acta No. 40-57, del Consejo Municipal de San Marcos. La empresa está dedicada a la distribución de energía eléctrica en el municipio de San Marcos. (p. 1).

7.1.1. Reseña histórica de la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos

En el año 1911, con la finalidad de abastecer del servicio de electricidad a los municipios de San Marcos y San Pedro se compra e instala la hidroeléctrica nombrada *Empresa Eléctrica de San Marcos y San Pedro Sacatepéquez*, que les dio vida a ambas empresas eléctricas, ubicada en Chamac, mediante la cual se aprovechaba la energía hidráulica del río Nahualá. Tenía una capacidad instalada de 84 kVA.

Posteriormente en el año 1930, debido al crecimiento de la carga en ambas ciudades se construye una planta hidroeléctrica nombrada *Empresa Eléctrica de San Marcos y San Pedro Sacatepéquez I*, ubicada a inmediaciones de la anterior, con una capacidad de 125 kVA. Ambas hidroeléctricas se complementaban, porque una estaba en función en horas del día y la otra en horas de la noche.

El 5 de abril de 1955, debido al gran incremento en los usuarios finalmente se separa la sociedad de la Empresa Eléctrica de San Marcos y San Pedro Sacatepéquez, y se crea de manera independiente la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos, al servicio de la población marquense.

7.1.2. Marco regulatorio

Partiendo de la Ley General de Electricidad y del Reglamento de la Ley General de Electricidad, un distribuidor es una persona, individual o jurídica que posea instalaciones destinadas a la distribución y comercialización de la energía, de la misma manera se hace referencia a la disposición de la regulación de los precios de distribución, realizadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, además de que formarán parte del Mercado Mayorista.

Las distribuidoras autorizadas están en la obligación de conectar las redes que posean para la distribución de energía a todos los clientes o consumidores que lo necesiten y se encuentren dentro de un límite territorial a sus instalaciones.

Fuera de estos límites cualquier interesado tendrá derecho a que la distribuidora suministre la potencia y energía que el usuario requiera. Se establecen de la misma manera plazos de conexión establecidos por el Reglamento de la Ley General de Electricidad, incluyendo las consideraciones jurídicas que conlleve la prestación del servicio.

La Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos, como todas las distribuidoras quedan reguladas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, que se fundamente en la Ley General de Electricidad y su reglamento.

7.1.3. Área de concesión

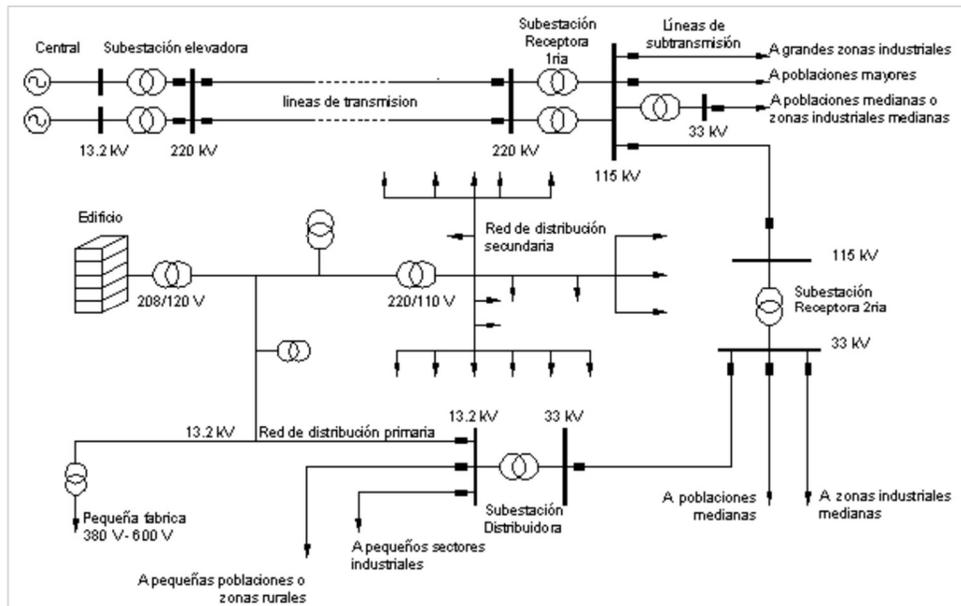
Como indica la página de la Municipalidad de San Marcos (2021):

Se le ha concesionado a la empresa el área que incluye: la Cabecera Municipal, Aldea Soche, La Federación, Caxaque, Las Lagunas, El recreo, Cansupe, Ixquiguila, Ixtagel, Agua Caliente Grande y Chiquita, La Castalia, Nueva Reforma, Cantel. Altiplano: Santa Lucía Ixcamal, San Sebastián, Los Cerezos, Canoa de Piedra, Los Puentes, Peña Flor, Alta Vista y El Rodeo. (p. 5)

7.2. Red de distribución eléctrica

La finalidad de todo sistema de potencia es la de abastecer energía eléctrica y potencia la carga del sistema, independientemente del tipo de usuario final, esto se logra gracias a una serie de procesos y componentes de la red, que van desde los sistemas de generación, transporte, comercialización y finalmente distribución. Se hace hincapié en el sistema de distribución eléctrica, como menciona Carías (2016): “como el conjunto de elementos o dispositivos que permiten el transporte de la energía desde las fuentes de generación hasta los lugares de consumo, en donde se encuentra establecida principalmente la red de distribución” (p. 2).

Figura 1. **Ubicación de sistemas de distribución dentro de un sistema eléctrico de potencia**



Fuente: Ramírez, C (2009). *Redes de distribución de energía*.

7.2.1. **Conformación de una red de distribución**

Para que sea posible el desarrollo de la actividad eléctrica, en ella participan múltiples etapas: Generación, transmisión, distribución y consumo, todas y cada una de estas etapas tienen sus características propias y formas de gestionar.

La etapa de distribución es sin duda una de las etapas más importantes, en términos económicos se puede decir que el 75 % de las inversiones en infraestructura están dedicadas a las redes de distribución, además de ser uno de los elementos que presenta mayores cantidades de pérdidas debido a los voltajes bajos que se manejan, y de que son redes voluminosas.

La conformación de los sistemas de distribución de energía eléctrica es principalmente:

- Subestaciones secundarias
- Circuitos primarios
- Ramales externos
- Transformadores de distribución
- Red de medición
- Circuitos secundarios

7.2.2. Equipos de un sistema de distribución

Una red de distribución de energía eléctrica está compuesta por una serie de equipos eléctricos que cumplen funciones específicas, como los sistemas de transformación, que elevan o reducen los niveles de tensión, equipos de conducción, dentro de estos se incluyen principalmente los conductores, equipos mecánicos, que generalmente son los elementos que soportan la red o son utilizados para la ubicación del resto de equipos, los equipos de protección, que son los encargados de reducir los riesgos eléctricos a los que está sometida la red, el principal elemento son las puestas a tierra y los sistemas aisladores entre torres u conductores. Finalmente se tienen los equipos como las torres eléctricas, encargadas de sostener mecánicamente a todos los conductores que conforman la red.

7.2.3. Clasificación de un sistema de distribución

Las redes de distribución pueden clasificarse de acuerdo con varios parámetros, que se consideran a continuación.

7.2.3.1. Por su construcción

Los sistemas de distribución pueden clasificarse de acuerdo con su sistema de construcción siendo estos los siguientes.

7.2.3.1.1. Aéreas

Están conformados por un sistema de postes y crucetas que permiten la sujeción aérea de los conductores, que generalmente van desnudos, posee múltiples ventajas como: Costos bajos, mantenimiento sencillo, buena localización de fallas, construcción rápida.

7.2.3.1.2. Subterráneas

Están conformados por un sistema de ductos y tuberías subterráneas, los conductores están recubiertos de aislador. Empleadas en zonas urbanas, zonas saturadas o por condiciones de seguridad. Poseen confiabilidad debido a su aislamiento de las redes aéreas, son más estéticas y seguras, pero son de mayor costo.

7.2.3.2. Por su ubicación

Las redes de distribución abastecen a cargas en distintas zonas geográficas, cada una de estas zonas posee características específicas que hacen que las redes de distribución posean diferencias marcadas.

7.2.3.2.1. Urbanas

Redes de distribución en zonas de residencias altamente concentradas, normalmente compuestas por cargas bifilares, trifilares y trifásicas. Usualmente comparten infraestructura con redes de cable, internet y telefonía.

7.2.3.2.2. Rurales

Redes de distribución con cargas dispersas, construidas para la mejora de la calidad de vida de las personas, sin un fin económico particular debido a su baja rentabilidad, normalmente son empleadas para cubrir necesidades básicas.

7.2.3.3. Por su tipo de carga

Las redes de distribución se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de demanda que se está cubriendo, debido a que cada tipo de carga posee características particulares.

7.2.3.3.1. Residencial

Cargas requeridas para el consumo residencial, generalmente alimentación de electrodomésticos, iluminación y artefactos residenciales. Compuestas generalmente por edificios residenciales, viviendas, condominios y urbanizaciones.

La principal característica de este tipo de cargas es que son altamente resistivas además de estar distribuidas en pequeñas cargas que en conjunto conforman el total de carga que el sistema de distribución debe de abastecer. Normalmente trabajan a niveles de tensión bajos.

7.2.3.3.2. Comercial

Ubicadas en zonas céntricas, en donde se desarrollan las actividades comerciales más importantes, como el caso de centros comerciales, edificios de oficinas y cualquier actividad comercial que requiera un consumo mayor de energía que el de una red de distribución residencial. Al igual que la residencial posee características de carga resistivas, con componentes inductivos que generan una alteración en el factor de potencia, y de la inclusión de cargas por componentes electrónicos que generan pequeños armónicos en la red.

7.2.3.3.3. Industrial

Redes de distribución de mayor potencia debido al alto consumo de componentes industriales como motores, calderas, maquinaria en general. Que debido a sus características inductivas generan un bajo factor de potencia, que es necesario corregir mediante distintas soluciones como un banco de capacitores. En algunos casos pueden ser redes individuales debido a las características específicas del servicio requerido por el usuario.

7.2.3.3.4. De alumbrado público

Redes construidas específicamente para abastecer al sistema de iluminación de las calles y recintos públicos de una población, son de construcción simple y fácil mantenimiento.

7.2.3.3.5. Mixta

Redes de distribución que son multifuncionales, debido a que abastecen cargas de distintas características, no son recomendables debido a su alta

complejidad de planeación y mantenimiento, aparte de que poseen un alto porcentaje de pérdidas.

7.3. Parámetros técnicos

Parámetros fundamentales que permiten la caracterización y cuantificación del servicio de energía eléctrica, dentro de todos los parámetros técnicos se resaltan los más importantes para redes de distribución pequeñas.

7.3.1. Carga

Volumen o cantidad de energía por abastecer en un sistema eléctrico de potencia, que será calculada por el consumo de los usuarios y las pérdidas del sistema.

7.3.1.1. Carga instalada

Cantidad total del consumo energético de un sistema eléctrico de potencia. Está determinado por la cantidad de usuarios, igualmente por la cantidad de consumo eléctrico de cada servicio. La carga instalada está en constante crecimiento y es necesario contar con un registro constante sobre su comportamiento para la correcta planificación de su abastecimiento.

La carga instalada de un sistema de distribución residencial hace referencia a el consumo total que debe ser abastecido por la red de distribución. En contraste la capacidad instalada es la cantidad de energía que el sistema de distribución puede abastecer y debe de ser superior en todo momento a la carga instalada.

7.3.1.2. Densidad de carga

Es la cantidad de carga a cubrir en una determinada área, una alta densidad de carga hace referencia a la existencia de muchos usuarios y por ende mucho consumo de energía eléctrica en un espacio reducido. Generalmente se tienen altas densidades de carga en sistemas de distribución urbanos, a diferencia de los sistemas de distribución rurales en donde las cargas están distribuidas en grandes extensiones geográficas.

Una densidad de carga elevada requiere que los sistemas eléctricos sean robustos, porque son más propensos a que ocurran fallas, para ello es necesario que se realice una correcta planificación, constante monitoreo del estado de la red, realización constante de mantenimiento preventivo y predictivo.

7.3.2. Potencia

Cantidad de energía por unidad de tiempo, la potencia disponible debe de ser la adecuada para la cantidad de usuarios y debe de ser bien dimensionada para que sea posible abastecer a los usuarios en su totalidad considerando los horarios pico, por lo que su calidad debe de ser la mejor posible.

Como indica Pacheco (2018):

La calidad de tensión o potencia eléctrica es un término usado para detallar la relativa cantidad de disturbios o variaciones de tensión, particularmente en lo que se refiere a: armónicos, fluctuaciones de tensión, transitorios y factor de potencia. La potencia que se suministra a una instalación o carga está caracterizada por cinco parámetros básicos: frecuencia, magnitud, forma de onda, desbalance y continuidad. (p. 1)

La calidad de potencia depende de varios factores fundamentales que en su conjunto pueden hacer que se preste un servicio de calidad.

7.3.2.1. Capacidad de potencia actual

Capacidad nominal del sistema para transmitir potencia desde su punto de recepción hasta cada uno de los puntos de distribución, está determinada por el diseño de la red, del mismo modo que el estado actual de los equipos eléctricos que la conforman. Esta capacidad se ve grandemente reducida debido a las pérdidas técnicas y no técnicas del sistema.

7.3.2.2. Capacidad de potencia por servicio

Cantidad de potencia con la que se cuenta en el sistema por cada servicio conectado a la red, esta dependerá de la cantidad de usuarios conectados a cada ramal de la red de distribución y se establece un valor máximo para cada usuario.

7.3.2.3. Potencia reactiva del sistema

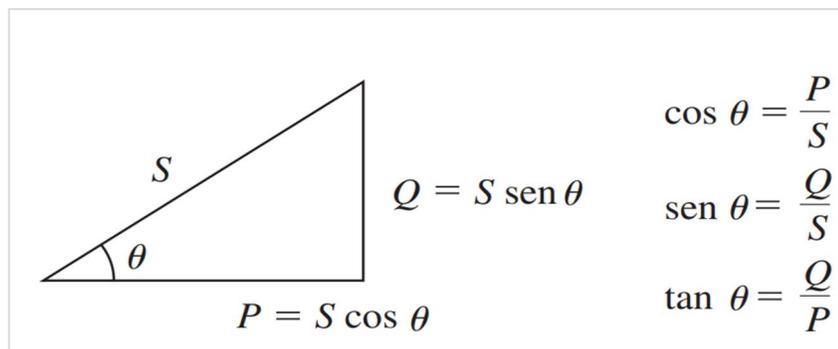
Técnicamente es sabido que la potencia posee tres componentes fundamentales, la potencia activa, la potencia reactiva y la potencia aparente. La potencia activa es la encargada de abastecer las cargas resistivas y cuando en un sistema eléctrico se tiene únicamente una potencia activa, se tienen un alto factor de potencia, ya que la potencia aparente será igual a la potencia activa.

En el caso de las cargas industriales generalmente se tiene una componente importante de potencia nombrada potencia reactiva. Esta potencia es necesaria y requerida para abastecer cargas inductivas o capacitivas de la red.

Estas cargas inductivas son generadas en equipos eléctricos que requieran establecer campos magnéticos, por lo que se requerirá un valor de potencia extra para poder establecer estos campos. Esta potencia trae consecuencias negativas para la red, debido a que se incrementará la potencia aparente y por lo tanto se requiere de una mayor capacidad de la red para suministrar dicha potencia.

Para reducir los efectos negativos de esta potencia es necesario tomar medidas que permitan reducir al máximo la potencia inductiva del sistema, una de las soluciones más comunes es el de la implementación de bancos de capacitores, que permiten suministrar a la red potencia reactiva capacitiva y de esta manera nivelar ambas potencias y por ende incrementar el factor de potencia hasta niveles seguros para la red.

Figura 2. **Triángulo de potencia**



Fuente: Chapman. S (2005). *Máquinas eléctricas*.

7.3.3. Voltaje

El voltaje o tensión es una diferencia de potencial eléctrico que permite que se genere corriente eléctrica en el sistema. Este parámetro debe de

mantenerse estable en el sistema, además de poseer un valor determinado con un porcentaje de error de acuerdo con las normas técnicas de la red de distribución en cuestión.

Según Rivera (2013):

Desde el punto de vista operativo del sistema de distribución sería ideal que el voltaje enviado desde la fuente, en este caso la subestación eléctrica, sea recibido por el usuario final, con las mismas condiciones iniciales, tanto en cantidad como en calidad, pero esto es imposible debido a que al circular una corriente por un conductor se producen pérdidas y una caída de voltaje, las mismas que deben estar dentro de los parámetros y rangos que la normativa exige. (p. 1)

7.3.3.1. Estabilidad

La estabilidad del voltaje hace referencia a la capacidad del sistema eléctrico de proveer señales de voltaje constantes, con disponibilidad en todo momento y con la robustez necesaria para no verse alterada de manera considerable ante cualquier perturbación del sistema.

7.3.3.2. Precisión

Es el valor eficaz que debe de poseer la onda de tensión, en sus diferentes niveles, la precisión hace referencia a la poca desviación del valor regulado, que normalmente está bajo norma.

En el caso de Guatemala, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica fija un índice de calidad de regulación de tensión, el cual será determinado de según

el índice para evaluar la tensión en el punto de entrega del Distribuidor al Usuario, en un intervalo de medición (k), será el valor absoluto de la diferencia (ΔV_k) entre la media de los valores eficaces (RMS) de tensión (V_k), y el valor de la tensión nominal (V_n), medidos en del mismo punto, expresado como un porcentaje de la tensión nominal.

7.3.4. Pérdidas

La composición de un sistema eléctrico incluye múltiples etapas y múltiples dispositivos eléctricos mediante los cuales es posible el desarrollo de la actividad eléctrica desde los puntos de generación hasta los puntos de distribución de esta. Cada uno de estos dispositivos eléctricos funcionan bajo cierta eficiencia que depende de múltiples aspectos como lo son: construcción, mantenimiento, tiempo de funcionamiento, condiciones de funcionamiento, entre otros. Cada uno de estos aspectos limitan el funcionamiento de los equipos, haciendo que se generen pérdidas técnicas en la red, debido principalmente al efecto Joule.

Además de este tipo de pérdidas técnicas, el sistema está expuesto a otro tipo de pérdidas que son inherentes a la infraestructura de la red y están ligadas a factores externos a esta, como el caso de los robos de energía, los errores de medición, entre otros. Este tipo de pérdidas es de suma importancia porque forma gran parte del porcentaje de pérdidas del total de estas.

Para que una red sea eficiente económicamente, es necesario que se mejore su eficiencia técnica, por ello es necesario que las empresas distribuidoras realicen esfuerzos contundentes para combatir cualquier tipo de pérdidas y con ello mejorar la eficiencia técnica de la red, y por inercia se mejorará la eficiencia económica de la misma.

Otro de los aspectos de suma importancia en cuanto a las pérdidas en un sistema eléctrico está ligado al tipo de carga que se necesita abastecer, además de la potencia disponible para cada usuario, ya que si se excede de los valores establecidos de potencia por cada usuario, se generará un efecto de carga, en el que para suministrar la potencia total que exige el sistema, se tenderá a incrementar la corriente debido a que el voltaje es un valor constante en muchos casos, generando pérdidas mucho mayores por el sobrecalentamiento de los conductores debido a la sobre carga del sistema.

Para evitar que se generen las pérdidas en el sistema es necesario que se establezcan las condiciones adecuadas en la infraestructura de la red, tal como el comportamiento de las cargas que se deben de abastecer. Las pérdidas pueden clasificarse en dos grandes componentes que son:

7.3.4.1. Pérdidas técnicas

Este tipo de pérdidas está relacionado directamente con el funcionamiento de la red, son pérdidas necesarias para que operen todos los elementos eléctricos que conforman la red. Como bien se sabe, en el proceso de transmisión de energía es necesario que este pase por una serie de procesos desde su punto de recepción hasta cada carga individual, durante esta serie de procesos es necesario que se emplee cierta cantidad de energía para el funcionamiento de los equipos, desde la energía necesaria para activar los seccionadores e interruptores de potencia de la subestación de distribución, hasta la energía necesaria para el funcionamiento de los bancos de transformación.

Si bien es cierto esta energía es necesaria, en muchos casos se tienen cantidades de energía empleadas mucho mayor a las requeridas por el sistema,

debido principalmente al mal dimensionamiento de los equipos, a la falta de mantenimiento, al estado de la vida útil, entre otros.

Además de cuantificar la energía asociada al funcionamiento, dentro de esta categoría es necesario incluir la energía perdida por el calentamiento de los conductores y los equipos eléctricos, calentamiento que es totalmente normal. Si bien es cierto, las pérdidas técnicas no se pueden eliminar por completo, pero puede hacerse un esfuerzo técnico por reducir su valor en la mayor cantidad posible, ya que cada reducción de pérdidas que se tenga será un beneficio económico para la empresa distribuidora.

Según Maldonado (2005), en países en vías de desarrollo, es una práctica común el tener las pérdidas técnicas en valores cercanos a un 15 % y estas se pueden determinar mediante métodos analíticos, empleando hardware de medición y software de análisis. Por lo cual una adecuada medición de estas pérdidas requiere que el sistema de distribución esté preparado con todos los dispositivos de medición necesarios para su posterior análisis y toma de decisiones que permitan detectar puntualmente los puntos en los que se está teniendo mayor pérdida en la red.

Las pérdidas técnicas pueden clasificarse a su vez en:

7.3.4.2. Por falta de mantenimiento

Según Ordoñez y Nieto (2010):

El mantenimiento es la acción eficaz para mejorar aspectos operativos relevantes de un sistema o establecimiento tales como funcionalidad, seguridad, productividad, confort, imagen corporativa, salubridad e

higiene. Otorga la posibilidad de racionalizar costos de operación. El mantenimiento debe ser tanto periódico como permanente, preventivo y correctivo. (p. 1)

Los equipos de las redes de distribución están expuestos en su funcionamiento a fallos por diversas circunstancias, y es de suma importancia que estos fallos sean previstos para evitar que los daños que generen sean lo suficientemente importantes para ver comprometido el funcionamiento normal de la red. Aquí es donde se requiere de un constante mantenimiento predictivo de la red, el cual permite que se analice la evolución de los principales parámetros de la red, obteniendo información suficiente para prever fallos técnicos y de esta manera reducir su impacto negativo en la operación de dicha red.

Otro tipo de mantenimiento requerido es el mantenimiento preventivo, este se realiza para detectar fallos que suceden en la red con cierta frecuencia para preverlos y evitar que se tengan mayores repercusiones. Se incluye también dentro de la gama de mantenimientos, el mantenimiento correctivo, este permite reparar daños en la red que ya están hechos, este es el mantenimiento más costoso y que tiene repercusiones mayores en la red.

Todos estos tipos de mantenimiento en conjunto permiten que la red funcione de manera correcta, y eficiente, en muchas ocasiones debido a la falta de recursos y conocimiento, se dejan de hacer los mantenimientos que requieren los dispositivos eléctricos, generando fallas en el funcionamiento del sistema, que a su vez trae consigo pérdidas en la red.

7.3.4.3. Por mal dimensionamiento

Cuando se diseña una red eléctrica de distribución, se establecen parámetros previos que permitan dimensionar dicha red para lograr abastecer a una carga en específico, dentro de estos parámetros está la cantidad de usuarios que se deben de abastecer, la cantidad de cargas, el tipo de servicios, las características topológicas, la densidad de carga, entre otros.

Un dimensionamiento correcto de los elementos de la red permite el funcionamiento correcto de esta, en contraparte, cuando no se realiza un dimensionamiento adecuado de los elementos de la red, se pueden tener grandes problemas de pérdidas, debido al trabajo en sobrecarga de algunos dispositivos, además del calentamiento de los conductores cuando funcionan con parámetros que van más allá de sus parámetros de diseño o nominales.

7.3.4.4. Pérdidas no técnicas

Como menciona la OLADE (2014):

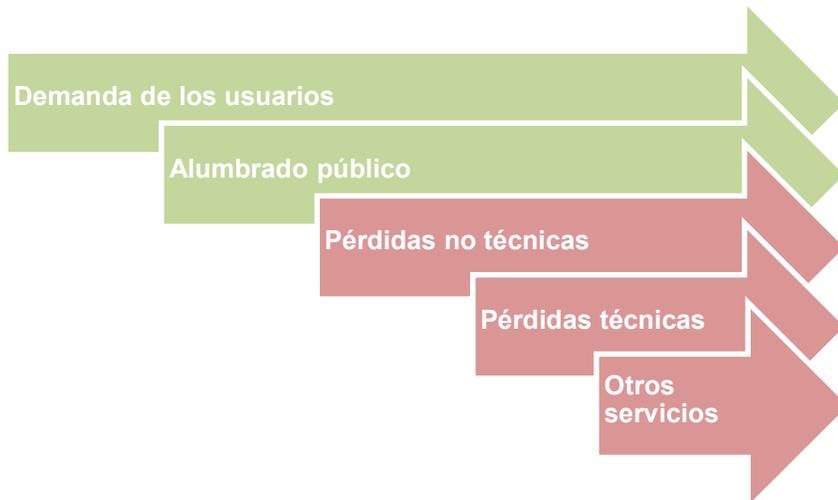
No toda la energía eléctrica que se produce se vende y se factura. Por lo tanto, todas las empresas suministradoras del servicio de electricidad registran pérdidas en la energía que generan y tienen disponible para su venta. Es decir, una proporción de la energía se queda por ahí. Los aparatos de medición no lo contabilizan como entregado a los usuarios y, por lo tanto, no puede ser objeto de cobro. Por lo tanto, las pérdidas no técnicas no constituyen una pérdida real de energía, ésta es utilizada por algún usuario que es suscriptor o no, de la empresa distribuidora la misma que solo recibe parte o ninguna retribución por la prestación del servicio.
(p. 3)

7.4. Eficiencia

La eficiencia energética hace referencia a la relación que existe entre el consumo energético requerido para cubrir cierta demanda de energía, en este proceso de transición de energía eléctrica de un lugar hacia otro existe cierta cantidad de energía que no llega al punto final y es empleada para alimentar a los elementos que hacen posible esta transferencia de energía y también existe cierta cantidad que se pierde en el proceso por múltiples circunstancias.

Además de términos energéticos, se le puede llamar eficiencia a la calidad del servicio de energía que se está brindando, para que un servicio de distribución de energía se completamente eficiente, es necesario que cumpla con una serie de aspectos importantes, que van desde aspectos técnicos hasta aspectos puramente logísticos y comerciales, en este caso se resaltarán los aspectos técnicos siguientes.

Figura 3. **Eficiencia**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Word 2019.

7.4.1. Estabilidad

La estabilidad de un sistema eléctrico depende de la capacidad de la red de permanecer en sincronismo, luego de haber ocurrido alguna falla, y de considerarse el tiempo de respuesta que debe de tomar la red para recuperar su estado normal.

Además de la estabilidad técnica, el término estabilidad incluye aspectos como la continuidad del servicio, el tiempo y la capacidad de la red de respuesta ante fallos.

7.4.1.1. Continuidad del servicio

Hace referencia a la capacidad que tiene la red de mantener el flujo de corriente sin interrupciones o con la menor cantidad de interrupciones posibles. Los factores más importantes de la continuidad del servicio son el número de interrupciones por año, el tiempo promedio que toma cada interrupción y la cantidad de clientes que se ven afectados cuando suceda un fallo en la red.

7.4.1.2. Tiempo de respuesta ante fallos

Dentro de los parámetros de eficiencia, el tiempo de respuesta es importante, y de ello depende el tiempo de desconexión del suministro de energía eléctrica a los usuarios. Entre menor sea el tiempo de respuesta de la red, se tendrá un mejor servicio y por ende incrementará la eficiencia de este.

7.4.1.3. Capacidad de respuesta ante fallos

Hace referencia a la inmunidad que posee el sistema de distribución ante perturbaciones en la red, y de qué manera ésta evita que se tengan grandes pérdidas de potencia activa y reactiva y se retomen los valores nominales luego de cualquier perturbación. La robustez de los sistemas está relacionada con la infraestructura de la red y la adición de equipos eléctricos como supresores de picos y reguladores de voltaje.

7.4.2. Cobertura

De acuerdo con el Ministerio de Energía y Minas de la República de Guatemala (2022): “el índice de cobertura eléctrica es un indicador que refleja la

proporción de hogares que cuentan con acceso al servicio de energía eléctrica en un país” (p. 1).

Por lo que la cobertura eléctrica de un sistema de distribución hace referencia a la cantidad de usuarios que cuentan con el servicio eléctrico en su hogar. Para que una red de distribución sea eficiente, es necesario que se tenga la mayor cobertura eléctrica en su área de concesión.

7.4.3. Demanda actual

Según Espina (2017):

La demanda actual de un sistema de distribución de energía eléctrica es la parte terminal del sistema que convierte la energía eléctrica a otra forma de energía. Por ejemplo, un motor eléctrico convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Más aún, este concepto incluye a todos los artefactos que requieren de energía eléctrica para funcionar o realizar un trabajo. La suma de las intensidades o potencias de placa de todos los artefactos de consumo dependientes del sistema de distribución de energía eléctrica, o de una parte de él, constituye su carga conectada y representa la máxima demanda posible de una instalación. (p. 2)

Por otra parte, Espina (2017) expone sobre la demanda eléctrica qué: en un sistema es la intensidad de corriente, o potencia eléctrica, relativa a un intervalo de tiempo específico, que absorbe su carga para funcionar. Ese lapso se denomina intervalo de demanda, y su indicación es obligatoria a efecto de interpretar un determinado valor de demanda.

7.4.4. Proyecciones de la demanda

La demanda eléctrica está en constante crecimiento, por ello es necesario realizar planificaciones y proyecciones de este crecimiento y así poder preparar la red para que tenga capacidad de poder satisfacer a toda la carga requerida.

Esta estimación de energía y potencia que será requerida en un futuro por los usuarios de la red debe de ser determinada con anticipación por el operador de la red de distribución, de esta manera se permitirá tener una mejor preparación y se correrán menos riesgos de sobre carga en el sistema.

Estas proyecciones deben de realizarse en base al historial de crecimiento de la red y en base a factores de crecimiento que permitan una mejor confiabilidad en los datos.

7.5. Plan de gestión

Es la recopilación de directrices técnicas y administrativas que permitan mejorar la forma en la que es administrado un sistema. Un plan de gestión debe de ser desarrollado realizando un análisis previo del sistema a manejar, para ello es necesario contar con registros de los datos de su funcionamiento y con los parámetros básicos que se deben de manejar.

Posteriormente se realiza una etapa de análisis de esta información para detectar de manera efectiva los cambios que deben de realizarse y con ello mejorar las condiciones de funcionamiento del sistema o la organización que se administra.

7.5.1. Mantenimiento

Como indica Botero (1993):

Es un conjunto de actividades necesarias en instalaciones y equipos para corregir las fallas que puedan presentarse en estos, con el fin de mantener la continuidad del proceso y permitir que funcionen con normalidad, existen diversos métodos de mantenimiento, que en conjunto permiten que un sistema opere de mejor manera. (p. 1)

7.5.1.1. Mantenimiento preventivo

Según Romero (2016):

Es el que se realiza a equipos e instalaciones con el fin de prevenir una falla en las instalaciones de la red eléctrica, determinado por una inspección constante de los elementos que la conforman, verificando su correcto funcionamiento y tratando de prever fallas comunes o que suceden con frecuencia. (p. 1)

Este tipo de mantenimiento se realiza para evitar que las redes de distribución incurran en fallos graves que pueden ser previstos. Un constante monitoreo de las condiciones de los parámetros de operación permite detectar o prever a tiempo estos fallos y planificar el mantenimiento necesario para evitar que el sistema deje de funcionar. Un plan de gestión eficiente, sin duda alguna debe de incluir un plan de mantenimiento de la red.

7.5.1.2. Mantenimiento correctivo

Como indica González (2021):

El mantenimiento correctivo es el último tipo de mantenimiento que se realiza, y también el menos deseado. Este como su nombre lo indica es empleado para corregir la operación de los elementos, es decir, ya ocurrió un daño o una falla, y debe ser solventada para que el sistema pueda continuar funcionando adecuadamente. (p. 2)

Un sistema eléctrico está propenso a que ocurran fallos que requieran mantenimientos correctivos, lo ideal es tratar de evitar que se lleguen hasta estas instancias, sin embargo, cuando sea necesario es importante que se cuente con un plan de operación y tratar de corregir la falla o el daño en el sistema lo más pronto posible. Esto se logra manteniendo un suministro de repuestos comunes, en adición a una correcta capacitación del personal, que deberá de tener la capacidad de reparar la falla en todo momento.

7.5.2. Planificación

Según Bernal (2012):

La planificación es la primera función administrativa porque sirve de base para las demás funciones. Esta función determina por anticipado cuáles son los objetivos que deben cumplirse y que debe hacerse para alcanzarlos; por tanto, es un modelo teórico para actuar en el futuro. La planificación comienza por establecer los objetivos y detallar los planes necesarios para alcanzarlos de la mejor manera posible. La planificación

determina donde se pretende llegar, que debe hacerse, como, cuando y en qué orden debe hacerse. (p. 4)

En el ámbito eléctrico la planificación está directamente relacionada con la caracterización en cantidad y calidad de la carga que se debe de abastecer mediante la red de distribución, la planificación de la expansión de la red juega un papel de suma importancia, y de esta planificación dependerá el funcionamiento de la red a futuro.

7.5.3. Innovación

El desarrollo de nuevos conceptos y tecnologías permiten que la administración de los recursos sea cada vez más eficiente, para ello es necesario que los sistemas o las organizaciones estén en constante evolución y vayan adaptando medidas que permitan siempre la mejora del funcionamiento de estos.

En las redes eléctricas, la innovación va de la mano con la adopción de nuevas tecnologías de medición y control, permitiendo al administrador del sistema tener información más precisa que le permita realizar acciones con mayor precisión y de esta manera mantener el funcionamiento de la red de la mejor manera posible.

En el ámbito de las redes de distribución, se han observado conceptos de gestión de estas que permiten administrar la red de mejor manera, reduciendo pérdidas, incrementando la confiabilidad y estabilidad del servicio, entre estos conceptos están:

- La medición inteligente
- La generación distribuida renovable

- La implementación de redes inteligentes
- Las redes neuronales para la caracterización de las cargas
- Otros.

Todos estos conceptos pueden ser aplicados y de esta manera innovar el modelo de gestión de una red de distribución de energía eléctrica.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos

1.1.1. Reseña histórica de la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos.

1.1.2. Marco regulatorio

1.1.3. Área de concesión

1.2. Red de distribución eléctrica

1.2.1. Conformación de un sistema de distribución

1.2.2. Equipo de un sistema de distribución

1.2.3. Clasificación de un sistema de distribución

1.2.3.1. Por su construcción

1.2.3.1.1. Aéreas

1.2.3.1.2. Subterráneas

1.2.3.2. Por su ubicación

1.2.3.2.1. Urbanas

- 1.2.3.2.2. Rurales
 - 1.2.3.3. Por su tipo de carga
 - 1.2.3.3.1. Residencial
 - 1.2.3.3.2. Comercial
 - 1.2.3.3.3. Industrial
 - 1.2.3.3.4. De alumbrado público
 - 1.2.3.3.5. Mixta
- 1.3. Parámetros técnicos
 - 1.3.1. Carga
 - 1.3.1.1. Carga instalada
 - 1.3.1.2. Densidad de carga
 - 1.3.2. Potencia
 - 1.3.2.1. Capacidad de potencia actual
 - 1.3.2.2. Capacidad de potencia por servicio
 - 1.3.2.3. Potencia reactiva del sistema
 - 1.3.3. Voltaje
 - 1.3.3.1. Estabilidad
 - 1.3.3.2. Precisión
 - 1.3.4. Pérdidas
 - 1.3.4.1. Pérdidas técnicas
 - 1.3.4.1.1. Por falta de mantenimiento
 - 1.3.4.1.2. Por mal dimensionamiento
 - 1.3.4.2. Pérdidas no técnicas
- 1.4. Eficiencia
 - 1.4.1. Estabilidad
 - 1.4.1.1. Continuidad del servicio
 - 1.4.1.2. Tiempo de respuesta ante fallos

- 1.4.1.3. Capacidad de respuesta ante fallos
 - 1.4.2. Cobertura
 - 1.4.2.1. Demanda actual
 - 1.4.2.2. Proyecciones de la demanda
 - 1.5. Plan de gestión
 - 1.5.1. Mantenimiento
 - 1.5.1.1. Mantenimiento preventivo
 - 1.5.1.2. Mantenimiento predictivo
 - 1.5.2. Planificación
 - 1.5.3. Innovación
2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
- 2.1. Principales causas de pérdidas
 - 2.2. Crecimiento de la demanda de usuarios
 - 2.3. Estudios eléctricos requeridos en la red
 - 2.4. Sistema de alumbrado público
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
- 3.1. Propuesta del plan de gestión eficiente
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES
- REFERENCIAS
- APÉNDICE
- ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Clase de diseño

Partiendo de un modelo de investigación experimental se pretende obtener la información suficiente sobre el estado actual de una red de distribución de energía, específicamente la red de la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos, para posteriormente realizar un análisis de dicha información y con ello identificar los principales aspectos, parámetros y variables a manipular para poder mejorar la eficiencia del sistema, mediante la implementación de pequeñas directrices en la gestión de la red.

9.2. Tipo de estudio

La investigación posee variables y categorías, considerando que se trabajarán con variables cuantitativas y cualitativas, dentro de las variables cuantitativas a investigar, resaltan por su importancia las variables técnicas de la red de distribución, como es el caso de la potencia, el voltaje, las pérdidas, la carga, entre otros. Todas ellas enmarcadas dentro de la variable red de distribución eléctrica. Sin embargo, hay categorías (variables cualitativas), que se deben de tomar en cuenta dentro del entorno de la eficiencia de la red, puesto que acá es necesario caracterizar algunos aspectos como si el precio es óptimo, si se posee estabilidad suficiente o si se cuenta con una cobertura adecuada de la red.

9.3. Alcance del estudio

Será una investigación explicativa, en ella se tratará de exponer a grandes rasgos, las causas y motivos que hacen que la red no sea eficiente, para luego aprovechar estas explicaciones y proponer soluciones contundentes y reales, que se puedan aplicar actualmente a la red y con ello mejorar la eficiencia de esta.

En base a datos técnicos reales y observables actualmente en la red. La descripción específica de las causas que vuelven a la red ineficiente es el punto de partida de dicha investigación, con el análisis de estas causas será posible proponer soluciones puntuales sobre los cambios requeridos en la red y posteriormente mejorar la eficiencia de esta.

Tabla I. **Variables e indicadores**

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional
Precios	Costo económico que se debe de pagar por el acceso a la energía eléctrica definido por múltiples variables.	Se medirá en quetzales por Kwh.
Estabilidad	Capacidad de un sistema eléctrico de potencia de retornar a un estado de equilibrio luego de una perturbación.	Se caracterizará de acuerdo con la opinión de los usuarios en cuanto al tiempo de respuesta.
Cobertura	Cantidad de población que tiene acceso a el servicio de energía, con relación a las viviendas del municipio.	Se medirá en porcentaje de cobertura en el municipio.
Pérdidas técnicas	Las pérdidas de energía en una red eléctrica son la diferencia entre la energía comprada y la energía que es vendida.	Se medirá en Kwh y en Kw.
Parámetros eléctricos	Características de la energía eléctrica, como el voltaje, la potencia, la frecuencia, entre otros.	Se medirá en V, Kw, Hz.
Carga	Es la demanda de energía y potencia a abastecer en un sistema de distribución.	Se medirá en Kwh y en Kw.
Eficiencia	Capacidad de lograr los resultados deseados con el mínimo posible de recursos.	se medirá en %

Fuente: elaboración propia, realizado con Word 2019.

9.4. Fases del estudio

La elaboración de un Plan de Gestión Eficiente llevará 5 pasos principales para su correcto desarrollo, partiendo desde una revisión bibliográfica acerca de

redes de distribución de energía eléctrica, posteriormente la obtención de los datos reales de la red de distribución de la Empresa Eléctrica de la Municipalidad de San Marcos, posteriormente se desarrollará la fase de análisis de datos, seguida de la fase de propuesta de cambios y recomendaciones sobre la red y finalmente el desarrollo del Plan como tal.

9.4.1. Fase 1: revisión bibliográfica

En esta fase se enriquecerán los conocimientos sobre redes de distribución de energía eléctrica, en el ámbito nacional e internacional, se identificarán las normas que se deben de cumplir, tomando en cuenta las principales características y aspectos a considerar en una red de distribución de energía, mediante esta revisión se pretende recabar toda la información general sobre las redes de distribución e identificar los aspectos generales que definen la eficiencia de dicha red.

9.4.2. Fase 2: obtención de datos reales de la red

Luego de enriquecerse sobre las redes de distribución de energía, y de entender el funcionamiento de estas, se aplicarán esos conocimientos a el caso particular de la red que se desea estudiar y analizar, para poder proponer acciones que reduzcan las pérdidas y la ineficiencia de esta.

Esto se logrará partiendo de la recopilación de todos los datos disponibles de la red, datos sobre los parámetros eléctricos elementales, cantidad de usuarios, cantidad de la carga del sistema, proyecciones de crecimiento, datos económicos, entre otros.

En esta fase es de suma importancia la disposición de la Empresa Eléctrica de la Municipalidad de San Marcos, ya que es el único ente que puede contar con estos datos fundamentales para el desarrollo del plan. En esta fase de ser necesario se llevará a cabo un análisis de campo del estado de la red, para tener conocimiento suficiente sobre los datos antes mencionados, y la obtención de estos, si no es posible disponer de ellos.

9.4.3. Fase 3: análisis de datos

En esta fase se pretende convertir todos los datos obtenidos en información útil para la propuesta de las primeras acciones a tomar sobre la red de distribución. En esta fase, además del análisis cuantitativo de la información obtenida es necesario el desarrollo del análisis de los datos cualitativos sobre la red, como la calificación cualitativa que algunos usuarios le dan a la red, la calificación cualitativa que los usuarios le dan al servicio de alumbrado público, entre otros.

Esta es la fase más importante del desarrollo de la investigación, pues en ella se deberán de aplicar todos los conocimientos adquiridos a nivel de licenciatura, al igual que los adquiridos en la revisión bibliográfica, en esta fase se establecerán las principales directrices que conformarán el plan de gestión, así como las propuestas para procedimientos técnicos que son necesarios desarrollar en la red.

9.4.4. Fase 4: propuesta de cambios y directrices

En esta fase se desarrollarán y redactarán las conclusiones principales luego del análisis de los datos, en esta fase se plantean soluciones a los

principales problemas por los que atraviesa la red, y pone en riesgo su funcionamiento, fiabilidad y eficiencia.

En esta fase se aplican los conocimientos adquiridos en la revisión bibliográfica y se generarán propuestas de cambio tanto físicas como logísticas de la red, se pretende también establecer métodos de mantenimiento seguros y eficientes, considerando propuestas de planeamiento del crecimiento de la red, entre otros. Básicamente en esta fase se dan a conocer todas las soluciones propuestas, producto del análisis de todos los datos obtenidos sobre la red de distribución.

9.4.5. Fase 5: elaboración del plan de gestión

Luego de contar con las directrices elementales y con las propuestas de protocolos de mantenimiento, monitoreo y respuesta a emergencias, se unificarán estas propuestas y directrices en un Plan de Gestión, que permita a la Empresa Eléctrica de la Municipalidad una mejor administración de la red, el desarrollo de un correcto plan de mantenimiento y una mejor respuesta ante las posibles emergencias. Este es el desarrollo del alcance que tiene esta investigación, la compilación de todas las soluciones que serán posibles aplicar en la red de distribución.

9.5. Resultados esperados

Mediante esta investigación, se espera realizar el planteamiento de las directrices base para una nueva y mejorada gestión técnica de la red de distribución de energía en la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos, esto se logrará a partir del análisis de datos y a la investigación bibliográfica acerca de las características principales de una red de distribución, además de una

investigación sobre las tecnologías y conceptos emergentes que pueden ser aplicados a la red de distribución en cuestión.

La determinación de las principales causas de las pérdidas de energía juega un papel importante en el trayecto para alcanzar el objetivo de esta investigación, una buena caracterización de las pérdidas en la red permitirá realizar el planteamiento de las acciones a tomar para reducir estas pérdidas y por ende reducir las pérdidas económicas que actualmente tiene la red de distribución.

De igual manera se pretende proponer un modelo de planificación de la demanda de usuarios para la red de distribución y de esta manera implementar acciones que permitan una correcta expansión en la red, todo ello con el fin de lograr abastecer con un servicio de calidad a todos los usuarios que requieran el suministro eléctrico.

Aunado a estos estudios de expansión se pretende generar una propuesta de los estudios que son necesarios realizar para el correcto funcionamiento de la red, luego del análisis de los datos propios de la Empresa Eléctrica, además de una inspección de campo, se tratarán de determinar los estudios eléctricos que se deberían realizar a cada cierto tiempo, y con ello establecer las bases para una mejor administración de la red.

Finalmente se pretende caracterizar de manera cualitativa la calidad del servicio de alumbrado público, realizando un análisis de la calidad del mismo, así como de su cobertura en el municipio, para posteriormente proponer directrices que permitan gestionar de mejor manera esta red tan importante para la población del municipio de San Marcos.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Luego de terminar con la fase de recopilación de información, considerando la información técnica y la información cualitativa que se tenga sobre el sistema, será necesario aplicar métodos de análisis de esta información para lograr observar de mejor manera el panorama en cuanto al estado actual de la red. Al ser una investigación mixta, se requerirán conocimientos de la estadística descriptiva para poder analizar la información disponible.

10.1. Bases de datos

Como fase dos de esta investigación se pretende recopilar toda la información técnica disponible en cuanto a las pérdidas que se tengan en el sistema, esta información será ordenada y caracterizada.

Además de los datos que se puedan adquirir sobre las mediciones de potencia de la red, se requerirá que se obtengan los datos registro del comportamiento de la demanda en la red, el histórico, se tratarán de obtener los datos acerca de los estudios eléctricos que se realizan en la actualidad en el sistema y finalmente se obtendrán datos acerca de la red de alumbrado público.

Tabla II. **Ejemplo base de datos**

ID de medición	Georreferencia	Ra mal	Voltaje nominal	Voltaje medido	Corriente	Potencia
X	40° 24' 59" N; 03° 42' 09" O	X	120	115	25	2875

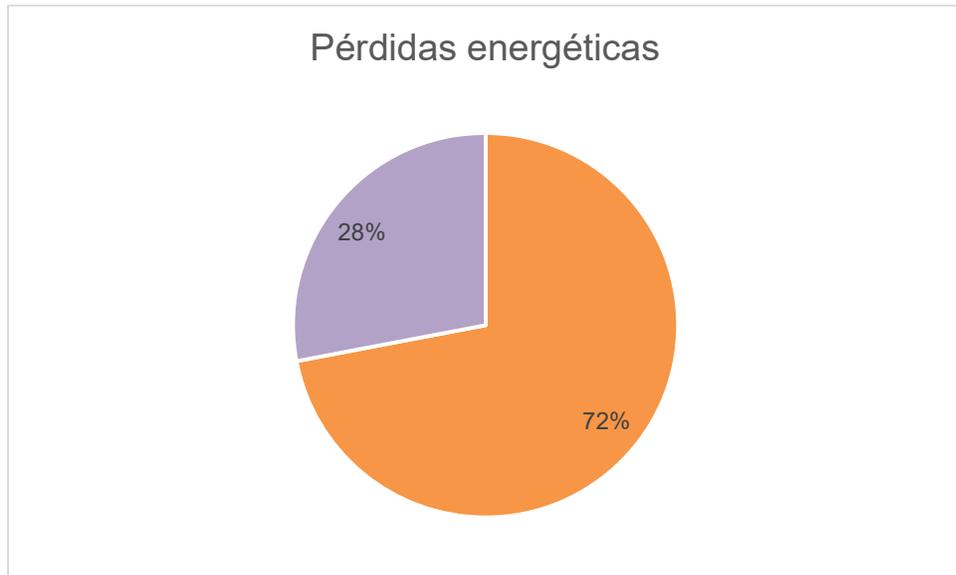
Fuente: elaboración propia, realizado con Word 2019.

10.2. Estadística descriptiva

Para lograr comprender con mayor claridad el comportamiento de los datos técnicos adquiridos, estos datos serán empleados para la elaboración de gráficos que permitan interpretar de mejor manera el estado actual de la red de distribución, para ello serán empleados gráficos, medidas de resumen y tablas.

Esta técnica hará posible que se puedan relacionar variables de interés en la red, como es el caso del comportamiento de la carga o la demanda de energía a lo largo del tiempo, así como la cantidad de energía que se pierde actualmente traducida a términos económicos.

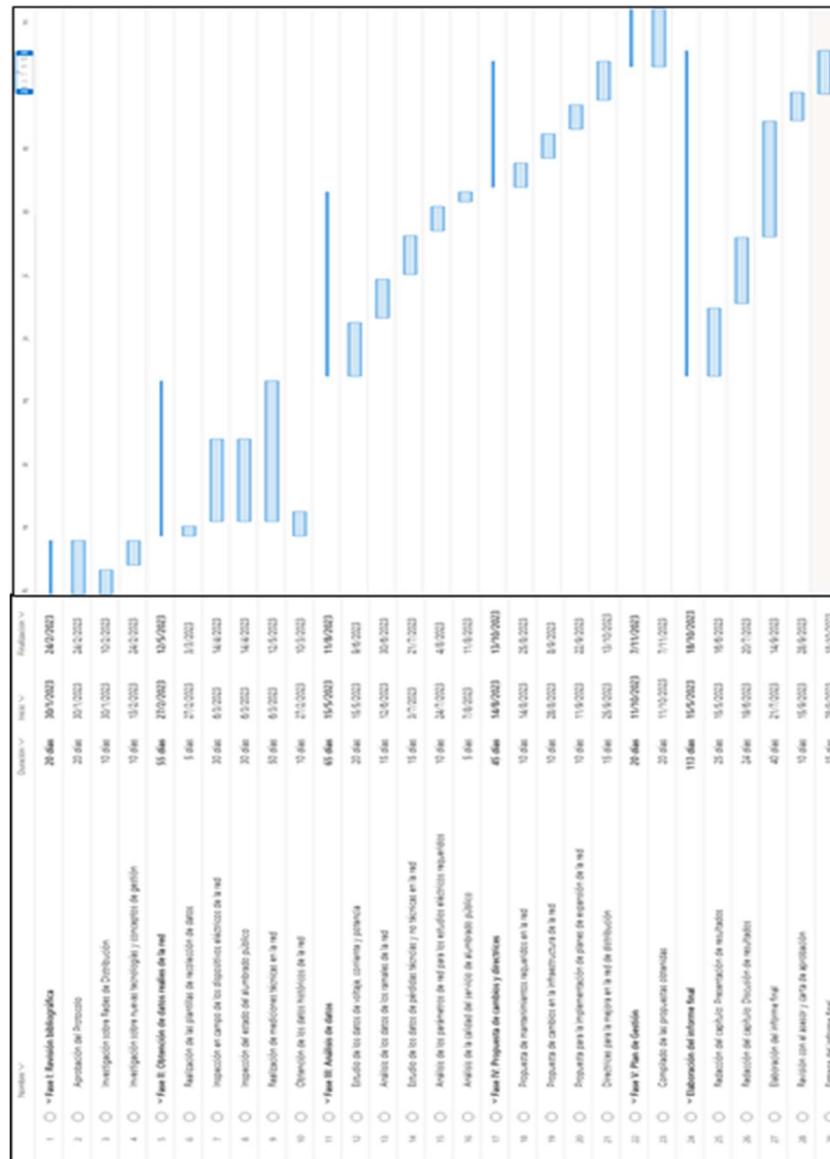
Figura 4. **Ejemplo de porcentaje de pérdidas**



Fuente: elaboración propia, realizado con Word 2019.

11. CRONOGRAMA

Figura 5. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 2019.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Dentro de los costos más significativos en la realización de la investigación se encuentran las visitas técnicas a la red y trabajo de campo requerido para la obtención de los datos, todo ello dependerá de la cantidad de datos con las que se cuenten actualmente en la empresa.

Además de tomar en cuenta que se requieren recursos humanos, equipos y suministros que permitan el correcto desarrollo de la investigación. Dentro de los recursos humanos están los recursos puramente técnicos, para la obtención de datos y los recursos de asesoría.

Los equipos por utilizar dependerán de la cantidad de datos con las que se cuente actualmente en la empresa, sin embargo, de ser necesario se alquilarán equipos de medición. Finalmente, los suministros, que engloban todos los materiales que se requieren para la realización de esta investigación.

Tabla III. **Recursos financieros necesarios para la investigación**

Tipo	Cantidad	Recurso	Costo	Total
Humano	2	Técnicos de apoyo	Q 500.00	Q 1,000.00
Humano	1	Asesoría	Q5,000.00	Q 5,000.00
Equipo	6	Depreciación mensual computadora	Q 150.00	Q 900.00
Equipo	6	Depreciación mensual impresora	Q 40.00	Q 240.00
Equipo	2	Alquiler de equipo de medición	Q7,000.00	Q14,000.00
Suministro	2	Tinta de impresión	Q 150.00	Q 300.00
Suministro	4	Papel bond	Q 50.00	Q 200.00
Suministro	6	Energía	Q 50.00	Q 300.00
Suministro	6	Internet	Q 30.00	Q 180.00
Suministro	6	Combustible y alimentación	Q 500.00	Q 3,000.00
Suministro	1	Utensilios de oficina	Q 600.00	Q 600.00
TOTAL				Q25,720.00

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 2019.

13. REFERENCIAS

1. Amaya, P. y Castañeda, L. (2014). *Evaluación de la eficiencia energética para transformadores de distribución* (tesis de licenciatura). Universidad de La Salle, Colombia.
2. Baptista, P., Hernández, R., y Fernández Collado, C. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Education.
3. Bernal, M. (2012). *La planificación: conceptos básicos, principios, componentes, características y desarrollo del proceso*. Recuperado de <https://nikolayaguirre.files.wordpress.com/2013/04/1-introduccion-a-la-planificacion.pdf>
4. Botero, C. (1993). Manual de mantenimiento. Parte I: ¿qué es el mantenimiento? *Revistas Sena*, 47 35-37. Recuperado de https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/1188
5. Carías, M. (2016). *Estudio técnico para incrementar la eficiencia y propuesta para la construcción, mantenimiento y operación de una red eléctrica en el departamento de Guatemala* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
6. Cervera, A. y Caicedo-Delgado, G. (2015). Sistema experto para regular tensión en redes de distribución. *Ingeniería y Competitividad*, 17(1),23-34. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291339265002>

7. Chapman. S. (2012). *Máquinas eléctricas*. México: McGraw-Hill.
8. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2010). *Compendio de normas técnicas emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/Recopilacion%20normas%20tecnicas%20CNEE.pdf>
9. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2022). *Informe estadístico. Gerencia de Fiscalización y Normas*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/wp/informes-estadisticos-de-calidad/>
10. Dután, W. (2014). *Pérdidas en transformadores de distribución de la Empresa Eléctrica Azogues* (tesis de maestría). Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20661/1/Tesis.pdf>.
11. Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos, EMAPS. (2022). *Municipalidad de San Marcos*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://municipalidaddesanmarcos.gob.gt/emaps/>
12. Enríquez, C. (2018). *Método para aproximar las pérdidas de potencia en el sistema eléctrico de distribución en media tensión de la Provincia de Huancayo, Junín* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú.

13. Espina, J. (2017). *Carga, demanda y energía eléctrica: conceptos fundamentales para la distribución de electricidad*. Recuperado de <https://www.sectorelectricidad.com/17597/carga-demanda-y-energia-electrica-conceptos-fundamentales-para-la-distribucion-de-electricidad/>
14. Fuentes, H. (2009). *Estudio de los indicadores de calidad comercial y distribución en la Empresa Eléctrica Municipal de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
15. González, M. (2021). *Impacto económico de la tasa de alumbrado público en los usuarios residenciales de dos municipios del departamento de San Marcos* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
16. Grainger, J. & W. Stevenson. (1996). *Análisis de sistemas de potencia*. México: McGraw-Hill/ Interamericana de México, SA de CV.
17. Jaime, D., Cabrera, A., Miraglia, D. y de la Fé, S. (2009). Empleo de redes neuronales artificiales en redes de distribución eléctrica. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 3(3-4), 65-71. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=378343637008>
18. Lasseter, R. & Piagi, P. (2007). Microgrids and distributed generation. *Journal of Energy Engineering*. American Society of Civil Engineers Microgrid, 133 (3), 144-149.

19. Maldonado, R. (2005). *Reflexiones sobre las pérdidas de energía eléctrica*. Revista CIEEPI, (8), Quito.
20. Ministerio de Energía y Minas de la República de Guatemala. (2022). *Índice de cobertura eléctrica 2021*. Guatemala: Autor.
21. Miranda, J. L. (2010). *Propuesta de automatización de la Red de Distribución de la Empresa Eléctrica Municipal de San Pedro Sacatepéquez* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
22. Municipalidad de San Marcos Guatemala. (2021). *Misión y visión*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://municipalidadesanmarcos.gob.gt/>
23. OLADE. (2014). *Acceso a mercados energéticos –fase 2- Guatemala*. Recuperado de <https://www.olade.org/wp-content/uploads/2021/03/MERCADOS-ENERGETICOS-GT-FINAL.pdf>
24. Ordoñez, J. y Nieto, L. (2010). *Mantenimiento de sistemas eléctricos de distribución* (tesis de licenciatura). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
25. Pacheco, D. (2018). *Estudio de calidad de potencia eléctrica y eficiencia energética para la biblioteca central de la Universidad de San Carlos de Guatemala* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

26. Ramírez, S. (2009). *Redes de distribución de energía*. Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
27. Rivera, J. (2013). *Eficiencia eléctrica en alimentadores primarios de distribución de la empresa eléctrica regional centro sur C.A. – Ecuador* (tesis de licenciatura). Universidad de Cuenca, Ecuador.
28. Romero, I. (2016). *Importancia legal de que el concejo municipal defina las tasas de alumbrado público partiendo de un estudio técnico para establecer costos que no afecten a la población* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala.
29. Vargas, D. (2015). *Estudio de indicadores de calidad del suministro de energía eléctrica de una red de distribución a 13.2 kV* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/60037/1053788870.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

14. APÉNDICE

Apéndice 1. Matriz de coherencia y conceptualización

PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	MARCO TEÓRICO	VARIABLES	INDICADORES
Ineficiencia en la red de distribución de energía de la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos.	Proponer un plan para la mejora de la eficiencia en la red de distribución de energía de la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos.			
PREGUNTA PRINCIPAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS			
¿Se cuenta actualmente con una gestión eficiente de la red de distribución de energía de la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos?	1. Detectar las principales causas de pérdidas en la red de distribución.	Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos.	Estabilidad.	Porcentaje de pérdidas en la red.
PREGUNTAS SECUNDARIAS	2. Proponer el desarrollo de planificaciones de crecimiento de la demanda de usuarios para preparar la red de distribución.	Red de distribución eléctrica.	Cobertura.	Porcentaje de cobertura en el municipio.
1. ¿Se detectan actualmente las principales causas de pérdidas en la red de distribución?	3. Establecer las bases para el desarrollo de estudios eléctricos constantes para la mejora de la operación técnica de la red.	Parámetros técnicos de una red de distribución.	Pérdidas.	Estado cualitativo de la red de alumbrado público.
2. ¿Se realizan planificaciones de crecimiento de la demanda de usuarios para preparar la red de distribución?	4. Analizar el estado actual de la red de alumbrado público en cuanto a eficiencia y cobertura.	Eficiencia.	Parámetros eléctricos.	Estado cualitativo de la infraestructura de la red.
3. ¿Actualmente se desarrollan estudios eléctricos de manera constante para la mejora de la operación técnica de la red?		Plan de Gestión.	Carga.	
4. ¿La red de alumbrado público es eficiente y posee una amplia cobertura?			Eficiencia.	

Fuente: elaboración propia, realizado con Word 2019.