



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LÍNEAS DE
DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN 13,8 KV, APLICADO AL SISTEMA DE DISTRIBUCION
DE NOR OCCIDENTE, HUEHUETENANGO**

Marvin Dagoberto Sosa Lucas

Asesorado por el MSc. Ing. César Francisco Santos Cifuentes

Guatemala, junio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LÍNEAS DE
DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN 13,8 KV, APLICADO AL SISTEMA DE DISTRIBUCION
DE NOR OCCIDENTE, HUEHUETENANGO.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARVIN DAGOBERTO SOSA LUCAS

ASESORADO POR EL MSc.ING. CÉSAR FRANCISCO SANTOS CIFUENTES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JUNIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murpy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

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 DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN 13,8 KV, APLICADO AL SISTEMA DE DISTRIBUCION DE NOR OCCIDENTE, HUEHUETENANGO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 2 de febrero de 2015.

Marvin Dagoberto Sosa Lucas



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



ADSE-MEAPP-0132017

Guatemala, 26 de mayo de 2017.

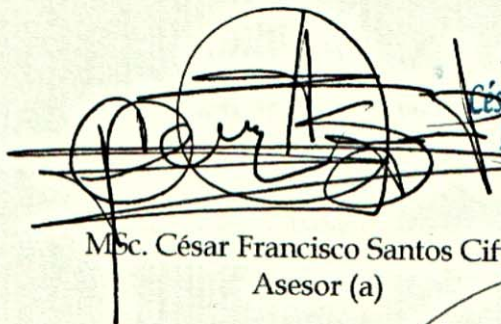
Director
Francisco Javier González López
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **Marvin Dagoberto Sosa Lucas** carné número **2002-16089**, quien opto 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 Energía y Ambiente.

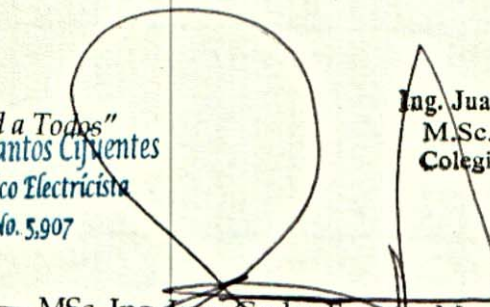
Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente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

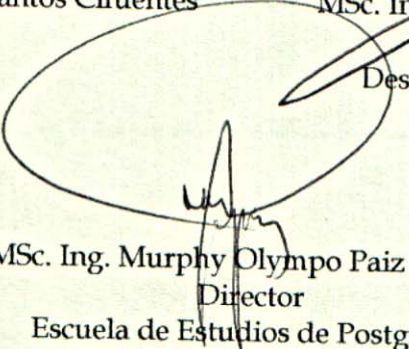
Sin otro particular, atentamente,


MSc. César Francisco Santos Cifuentes
Asesor (a)

"Id y Enseñad a Todos"
César Francisco Santos Cifuentes
Ingeniero Mecánico Electricista
Colegiado No. 5,907

Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504


MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.
Coordinador de Área
Desarrollo social y energético


MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



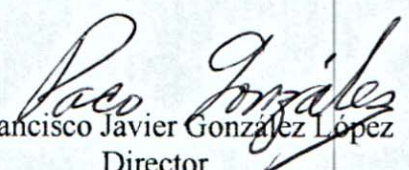
Cc: archivo
/la



REF. EIME 19. 2017.
Guatemala, 26 de MAYO 2017.

El Director de la Escuela de 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 Revisor y la aprobación del Área de Lingüística de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN 13,8 KV, APLICADO AL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE NOR OCCIDENTE, HUEHUETENANGO.** presentado por el estudiante universitario Marvin Dagoberto Sosa Lucas considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

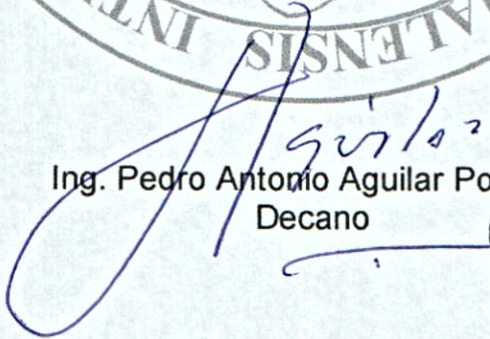

Ing. Francisco Javier González López
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica





El Decano 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 DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN 13.8 KV, APLICADO AL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE NOR OCCIDENTE, HUEHUETENANGO**, presentado por el estudiante universitario: **Marvin Dagoberto Sosa Lucas**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, junio de 2017

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser la fuente de sabiduría que me permitió lograr esta meta.
- Mis padres** Fernando Dagoberto Sosa Recinos y Marcelina Lucas de Sosa, con todo mi amor y agradecimiento por su esfuerzo, enseñanzas y el apoyo que me han brindado, por haberme inculcado buenos principios y valores a lo largo de mi vida, son un ejemplo a seguir.
- Mis hermanos** Ismary y Luis Sosa, por su cariño y el apoyo que me brindaron a lo largo de mis estudios.
- Mi sobrino** Edwin Fernando Agustín Sosa, con especial cariño.
- Mi familia** En especial a mi tía Irma Yolanda Sosa, por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ser la fuente de luz que guía mi camino.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme ser parte de esta casa de estudios, brindándome el conocimiento necesario para ser un profesional.
Mi asesor	MSc. Ing. César Francisco Santos, por su asesoría y colaboración en la elaboración de este estudio de investigación.
Mis primos	Sender Morales, Erika Pérez, Mario y Carlos Vásquez, por su apoyo y cariño.
Mis amigos	Por brindarme su amistad y apoyo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
SÍMBOLO SIGNIFICADO	VII
GLOSARIO	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
2.1. Eficiencia y ahorro energéticos.....	5
2.2. Líneas eléctricas.....	5
2.3. Conductores eléctricos en líneas de transmisión	5
2.4. Estructuras y aislamiento utilizados en líneas de distribución	6
2.5. Mantenimiento de líneas de distribución eléctricas	6
2.6. Normativas y reglamentos de líneas eléctricas	7
3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	9
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos	15
6. ALCANCE	17

7.	METODOLOGÍA	19
7.1.	Fase 1. Investigación bibliográfica	19
7.2.	Fase 2. Investigación de campo.....	20
7.3.	Fase 3. Análisis e Interpretación de datos	20
7.4.	Fase 4. Propuesta	20
8.	MARCO TEÓRICO	21
8.1.	Ahorro energético y eficiencia energética	21
8.1.1.	Energía.....	21
8.1.2.	Ahorro energético.....	21
8.1.3.	Eficiencia energética	22
8.1.4.	Tipos de medidas de ahorro y eficiencia energética.....	22
8.2.	Generalidades líneas eléctricas de media tensión	23
8.2.1.	Generalidades líneas de distribución	23
8.2.2.	Conductores.....	25
8.2.2.1.	Tipos de conductores	26
8.2.2.1.1.	Conductor de aluminio (AAC)	27
8.2.2.1.2.	Conductor de aluminio con aleación (AAAC).....	27
8.2.2.1.3.	Conductor de aluminio con refuerzo de acero (ACSR).....	28
8.2.2.1.4.	Conductor de aluminio con refuerzo de aleación (ACAR)	29
8.2.3.	Selección del conductor	30
8.2.3.1.	Cálculo de conductores eléctricos.....	30

	8.2.3.1.1.	Parámetros de líneas de media tensión	31
	8.2.3.2.	Pérdidas eléctricas	36
8.2.4.		Cálculo mecánico	40
	8.2.4.1.	Tensión mecánica de los conductores	40
	8.2.4.2.	Catenaria	41
	8.2.4.3.	Flecha.....	43
8.3.		Estructuras y aislamiento en líneas de media tensión.....	45
	8.3.1.	Estructuras o apoyos	46
	8.3.1.1.	Tipos de estructuras	46
		8.3.1.1.1. Postes	46
	8.3.2.	Aisladores.....	48
	8.3.2.1.	Tipos de aisladores.....	49
		8.3.2.1.1. Aisladores de espiga	49
		8.3.2.1.2. Aisladores de suspensión	50
		8.3.2.1.3. Aisladores tipo horizontal.....	51
9.		PROPUESTA DE ÍNDICE	53
10.		TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	57
	10.1.	Técnica de investigación bibliográfica	57
	10.2.	Trabajo en campo.....	57
	10.3.	Técnicas de análisis	58
11.		CRONOGRAMA.....	59

12.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	61
12.1.	Recursos materiales.....	61
12.2.	Recurso humano.....	61
12.3.	Recursos financieros.....	62
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
	APÉNDICES.....	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Red de distribución de media y baja tensión.....	24
2.	Corte transversal conductores de aluminio ACC.....	27
3.	Corte transversal conductores de aluminio con aleación AAAC	28
4.	Conductor de aluminio con refuerzo de acero ACSR.....	29
5.	Conductor de aluminio con refuerzo de aleación ACAR	29
6.	Concepto catenaria, flecha y vano	42
7.	Flecha con apoyos desnivelados	44
8.	Fuerzas aplicadas en las torres	47
9.	Aisladores de espiga de 13,8 y 34,5 kV	50
10.	Aisladores tipo suspensión.....	51
11.	Aisladores tipo horizontal	51

TABLAS

I.	Pérdidas de potencia por cadena de aislador	36
II.	Cronograma	59
III.	Recursos financieros.....	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
kV	Kilovoltio
kVA	Kilovolt-amperio
kWh	Kilovatio-hora
Q	Quetzales
V	Voltio
Ω	Ohm

GLOSARIO

AAC	Conductores de aluminio.
AAAC	Conductores de aluminio con aleación.
ACSR	Conductor de aluminio con refuerzo de acero.
ACAR	Conductor de aluminio con refuerzo de aleación.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
ETCEE	Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación.
LBT	Línea baja tensión.
LT	Línea de transmisión.
LMT	Línea media tensión.
ANSI	National Standards Institute

1. INTRODUCCIÓN

Es indiscutible que la energía eléctrica es un factor muy importante en el bienestar y desarrollo de la sociedad humana. En el diario vivir se hace uso de la energía eléctrica sin percatarse de tan importante es esta, se utiliza para iluminar, cocinar, realizar trabajo, entre otros. Uno de los inconvenientes que presenta el uso de la energía eléctrica es que esta no se genera en el mismo lugar donde se utiliza, se debe transportar la energía por medio de líneas de transmisión de alta tensión hacia los centros de transformación y de los centros de transformación hacia el centro de consumo por medio de las líneas de distribución de media tensión.

En el presente trabajo se estudiarán los parámetros eléctricos que intervienen en las líneas de distribución, los cuales tienen fenómenos eléctricos y electromagnéticos que influyen el sistema de distribución, con la finalidad de obtener un sistema de distribución eficiente, las líneas de distribución son las encargadas de distribuir la energía eléctrica hacia los centros de consumo, que están compuestas de varios componentes en los cuales se presentan las pérdidas técnicas, los elementos que se encuentran en las líneas de distribución son los conductores, estructuras, aislamientos y herrajes. Se hará un análisis técnico económico, con el objetivo de revisar, analizar y estudiar las mejores alternativas para la construcción de las líneas de distribución y con ello obtener el sistema de distribución más eficiente.

Toda línea de distribución de media tensión presenta pérdidas eléctricas en sus instalaciones (conductor, aislamiento, estructuras), en su mayoría las pérdidas técnicas se presentan en los conductores y son pérdidas por efecto Joule y efecto corona. Estas pérdidas se pueden minimizar si se realiza la

elección correcta del conductor, por tal razón los conductores eléctricos en líneas de distribución son una de sus partes más importantes para obtener un sistema eficiente.

Se realizará un análisis comparativo de un sistema de distribución más eficiente contra el sistema actual en el sistema de distribución de la región de Nor-Occidente, Huehuetenango, la cual consta de 14 salidas de media tensión, con el objetivo de demostrar que un sistema eficiente reduce las pérdidas y maximiza su funcionamiento. En dicho análisis, se mostrará el tiempo de recuperación de la inversión si se realizara los cambios necesarios para obtener un sistema más eficiente que el actual. La intención de obtener un sistema más eficiente es brindar un servicio de alta calidad a los consumidores y reducir las pérdidas de energía, con ello se podría obtener una reducción en los costos del uso de energía tanto para la distribuidora como para los clientes.

En el capítulo uno, se realizará una recopilación teórica del ahorro energético y la eficiencia energética de las líneas de distribución eléctrica en media tensión. En el capítulo dos, se hará una descripción de las características, tipos y métodos utilizados para seleccionar el conductor eléctrico más eficiente. En el capítulo tres, se describirán los conceptos básicos y los parámetros eléctricos que intervienen en las líneas eléctricas de media tensión, se detallarán los fenómenos eléctricos que se presentan en las líneas, se mostrará el cálculo eléctrico y mecánico de los conductores eléctricos. En el capítulo cuatro, se describirá el tipo de estructuras y aislamiento utilizados en las líneas de media tensión. En el capítulo cinco, se mostrará el procedimiento para obtener un sistema de distribución más eficiente el cual que se podría utilizar en el sistema de distribución de Nor-Occidente, Huehuetenango, Guatemala, por medio de cálculos matemáticos y el programa de simulación Neplan. También se mostrará una base de datos de las inspección realizada en

campo, en la cual se realizara mediciones de corrientes en cada una de las salidas de media tensión del sistema de distribución de la región de Nor-Occidente, Huehuetenango, se presentará el análisis comparativo de las pérdidas actuales y las pérdidas que se tendrían con un sistema de distribución más eficiente. Se presentarán los resultados obtenidos de dicha comparación y se propondrá el diseño más eficiente para el sistema de distribución de la región Nor-Occidente, Huehuetenango y con ello obtener el sistema más confiable y eficiente para el área Nor-Occidente.

2. ANTECEDENTES

En los últimos años, el tema de las líneas de distribución eléctrica ha tomado un nuevo impulso, debido a la importancia de brindar un servicio eléctrico eficiente y continuo a los consumidores.

2.1. Eficiencia y ahorro energéticos

El ahorro de energía y eficiencia energética es un tema muy importante, existen trabajos que se han realizado con el objetivo de minimizar las pérdidas y el uso de energía innecesaria para obtener un sistema de distribución eficiente (Canarias, 2008).

2.2. Líneas eléctricas

En 1988 se publicó uno de los libros más importantes sobre las líneas eléctricas, en el cual se exponen los parámetros y fenómenos eléctricos que se ocurren en las líneas eléctricas. También se plantean cálculos eléctricos y mecánicos que se deben realizar en todo cálculo de conductor para líneas eléctricas (Checa, 1988).

2.3. Conductores eléctricos en líneas de transmisión

Existe un trabajo realizado en 2013, en el cual se realizó un análisis de la confiabilidad de líneas de distribución eléctricas, utilizando conductores protegidos en estructuras compactas (Oliva, 2013).

En el 2012 se efectuó un estudio de líneas de distribución 13,8 KV, utilizando cable ecológico AAAC, comparándolo con las líneas que utilizan cable ASCR. En este trabajo se realizó un estudio técnico financiero en el cual se hace una relación de la inversión contra el ahorro de pérdidas técnicas por el cambio de conductor (Álvarez, 2012).

El flujo de corriente eléctrica es un factor importante en el diseño de líneas de transmisión, es por ello que en 2010 se realizó un estudio del flujo de corriente eléctrica para obtener el comportamiento de la corriente dentro de los conductores de las líneas eléctricas (Hernandez & Gomez, 2010).

En 2014, en México, la Comisión Nacional de Electricidad (CFE) realizó un documento en el cual unificó y simplificó la construcción de las líneas eléctricas de media tensión, para permitir una operación eficiente y segura minimizando su mantenimiento (CFE, 2014).

2.4. Estructuras y aislamiento utilizados en líneas de distribución

Existen diferentes tipos de estructuras que se utilizan en las líneas eléctricas. En el 2004, se realizó un estudio en el cual se analizó la utilización de estructuras compactas con base en aspectos eléctricos, mecánicos y económicos, tomando en cuenta las normativas y las distancias de seguridad. En este estudio también se mencionan los diferentes tipos de aislamientos y herrajes que se utilizan en la construcción de las líneas (Boj De León, 2004).

2.5. Mantenimiento de líneas de distribución eléctricas

Luego de la construcción de las líneas de distribución, es de suma importancia darles el trato adecuado, es decir, brindarles el mantenimiento

adecuado con las técnicas adecuadas. En 2009, se realizó un estudio en el que se detallan las diferentes técnicas de mantenimiento que se pueden utilizar en líneas de distribución en vivo. También se mencionan las conversiones y mejoras que se pueden hacer para obtener un óptimo funcionamiento de las líneas de distribución (Poyón, 2009).

En el 2012, se realizó un estudio en el cual se establecieron los procesos de aplicación de seguridad industrial para realizar trabajos de mantenimiento en las líneas de distribución eléctrica (Reyes Franco, 2012).

2.6. Normativas y reglamentos de líneas eléctricas

Toda construcción o diseño de líneas de distribución debe cumplir con las normativas que la Comisión Nacional de Energía Eléctrica ha establecido para alcanzar la calidad esperada (CNEE, 1999).

La importancia que tienen las líneas de distribución en la actualidad, obligaron a la república de Guatemala a crear las Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDOID), las cuales establecen disposiciones, criterios y requerimientos mínimos que se requieren para las instalaciones eléctricas de distribución en Guatemala, garantizando la seguridad de las personas (NTDOID, 1999).

3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, la eficiencia energética es un tema muy importante que merece un análisis en los sistemas de distribución de media tensión para garantizar un servicio de alta calidad al consumidor, las líneas de distribución de media tensión presentan pérdidas eléctricas en sus instalaciones (conductor, aislamiento, estructuras), en su mayoría, las pérdidas técnicas se presentan en los conductores. Estas son pérdidas por efecto Joule (pérdidas en forma de calor debido a la oposición del flujo de corriente eléctrica en los conductores) y efecto corona (pérdidas debido al campo magnético que se forma alrededor del conductor por la corriente eléctrica que circula en el conductor), en un sistema de distribución eficiente es importante reducir las pérdidas eléctricas que se presentan en los diferentes elementos del sistema de distribución, uno de los principales elementos donde se presentan las perdidos de corriente eléctrica son los conductores eléctricos.

En Guatemala, las líneas de distribución están construidas en su mayoría por conductor aluminio ASCR. Existen otros tipos de conductores más eficientes que se podrían instalar para obtener un sistema de distribución eficiente, pero su inconveniente es su alto costo. Por ello es importante realizar un estudio técnico económico para verificar si es factible tener un sistema de distribución eficiente y verificar si es rentable, con base en las pérdidas que se reducirían, ya que el objetivo en toda línea de distribución es reducir las pérdidas eléctricas.

En Guatemala, la tensión de las líneas de distribución es de 13,8kV y 34,5 kV, estas líneas son de tipo aéreo que utilizan conductores aislados por aire.

Todo tipo de conductor presenta pérdidas de energía eléctrica, estas pérdidas dependen de las propiedades de cada conductor y del medio que lo rodea. En este trabajo de graduación se realizará un análisis para obtener un sistema de distribución eficiente, adecuado para la región de Nor-Occidente Huehuetenango.

Se realizará un análisis en el sistema de distribución del área de Nor-Occidente, Huehuetenango, con el objetivo de obtener un sistema de distribución más eficiente. Se realizará un análisis económico en el cual se verificará qué tan rentable sería utilizar este tipo de material y en cuánto tiempo se recuperaría la inversión con base en el ahorro de energía eléctrica que se obtendría al minimizar las pérdidas, teniendo un sistema más eficiente, con esto se garantiza un mejor servicio para los clientes, que es uno de los objetivos principales de toda distribuidora eléctrica.

Para obtener las pérdidas eléctricas actuales en el sistema de distribución de la región Nor-Occidente, Huehuetenango, se realizarán inspecciones en la cual se realizarán mediciones de corrientes en las salidas de media tensión del área (14 salidas de media tensión), también se realizará un análisis de las pérdidas comerciales que se presentan debido al hurto de energía, con esto se identificará la pérdidas técnicas que se presentan en esta las salidas de media tensión. Para obtener las pérdidas eléctricas en los conductores eficientes que se propondrán en este trabajo se realizan cálculos matemáticos y se utilizará el programa de simulación Neplan en el cual se realizará un análisis del flujo de corrientes.

En toda distribuidora de energía eléctrica se presenta el problema de las pérdidas técnicas, debido a la oposición del flujo de corriente eléctrica y al campo magnético que se forma alrededor de los conductores. Dichas pérdidas producen pérdidas de energía y, por ende, pérdidas económicas. Por lo tanto,

es de suma importancia obtener un sistema de distribución más eficiente según la zona que se esté trabajando, ya que estos dependen de varios criterios atmosféricos, como la altura sobre nivel del mar, densidad, nivel isoceraúnico. Este trabajo de graduación se centrará en el uso eficiente de la energía en las líneas de distribución. Se realizará un análisis técnico económico en el sistema de distribución de la región de Nor-Occidente, Huehuetenango.

¿Qué beneficios técnico económicos se obtendrán si se obtuviera un sistema de distribución más eficiente en la región de Nor-Occidente Huehuetenango?

Para responder la pregunta central, se deben responder las siguientes preguntas.

- ¿Qué tipo de pérdidas eléctricas se presentan en los sistemas de distribución eléctrica?
- ¿Cómo aumentar el flujo de corriente eléctrica en los sistemas de distribución de media tensión?
- ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de un sistema eficiente?
- ¿Qué cantidad de pérdidas eléctricas existen en el sistema de distribución de la región Nor-Occidente, Huehuetenango?
- ¿Qué relación de pérdidas eléctricas existen entre los conductores actuales y los nuevos conductores?

4. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de graduación se clasifica en las líneas de investigación de uso eficiente de la energía y pérdidas en el sistema eléctrico.

Las pérdidas de energía eléctrica que se presentan en los sistemas de distribución eléctrica, producen un gasto de energía innecesario. Un mal diseño en las líneas de distribución eléctrico tiene como consecuencia altas pérdidas de energía eléctrica que producen calentamiento en el conductor, deterioro de su vida útil, elevado costo de energía eléctrica y un mal servicio de energía a los usuarios. Por ello, el cálculo del conductor eléctrico es de suma importancia para obtener un sistema de distribución eficiente, con el objetivo de minimizar las pérdidas eléctricas y los costos del servicio eléctrico, contribuyendo al mejoramiento del medio ambiente y garantizando un servicio óptimo y continuo.

En el trabajo que a continuación se presenta se realizará un estudio técnico económico en el cual se demostrará el ahorro de energía eléctrica que presentan si se obtiene un sistema más eficiente, esto se aplicará al sistema de distribución de la región de Nor-Occidente, Huehuetenango. Se escogió esta región, debido a que en ella se presentan pérdidas de energía eléctrica considerables, las cuales se podrían mejorar si se tuviera un sistema de distribución más eficiente. Además, se tiene accesibilidad para realizar estudios en esta zona y con ello maximizar su funcionamiento y minimizar pérdidas técnicas.

Tener un sistema de distribución eficiente traerá grandes beneficios, como la reducción de pérdidas de energía eléctrica, lo que implicaría la

reducción de pérdidas económicas, garantizaría un servicio eficiente, de alta calidad y continuo para los usuarios y se presentaría una reducción en los precios de la energía, beneficiando a los usuarios del servicio eléctrico.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Describir los beneficios técnico económicos que se obtienen al tener un sistema de distribución eficiente en líneas de distribución de media tensión, aplicado a la región de Nor-Occidente, Huehuetenango, maximizando el flujo de corriente eléctrica y minimizando las pérdidas eléctricas.

5.2. Específicos

- Identificar los tipos de pérdidas eléctricas que se presentan en las Líneas de distribución eléctricas de media tensión.
- Identificar el conductor eléctrico más eficiente, el cual tiene el mayor flujo de corriente.
- Identificar ventajas y desventajas de un sistema de distribución eficiente, en las líneas de media tensión.
- Identificar las pérdidas técnicas en el sistema de distribución del área de Nor-Occidente, Huehuetenango.
- Realizar un análisis comparativo de las perdidas eléctricas existentes en las salidas de media tensión de área de Nor-Occidente, Huehuetenango, contra las pérdidas evaluadas en los conductores más eficientes.

6. ALCANCE

Con el presente trabajo se trata de demostrar cómo se puede alcanzar la máxima eficiencia en el sistema de distribución de media tensión, aplicándolo a las salidas de media tensión de la región de Nor-Occidente (14 SMT), Huehuetenango, utilizando los criterios para el área Nor-Occidente de Guatemala. Este análisis no es válido para otras regiones del país, ya que en los cálculos que se realizarán se tomarán en cuenta los criterios ambientales y estos son únicos en cada región.

Se pretende demostrar con base en cálculos comparativos cuál sería el diseño más eficiente para la región noroccidente de Guatemala. Se realizarán cálculos de las pérdidas eléctricas por efecto Joule y pérdidas por efecto corona con diferentes conductores, aplicando los criterios para la zona noroccidente. Con ello, se realizará un análisis técnico económico del tiempo de recuperación de la inversión, para obtener un sistema de distribución eléctrico eficiente en el área de Nor-Occidente, Huehuetenango.

7. METODOLOGÍA

Para realizar un estudio técnico-económico para la elección del un sistema de distribución eficiente en líneas eléctricas media tensión en la región de Nor-Occidente, Huehuetenango, se utilizará una metodología cuantitativa descriptiva, ya que se describirá, explicará y demostrará el comportamiento de las pérdidas en un sistema de distribución eléctrico.

7.1. Fase 1. Investigación bibliográfica

Se recolectará información sobre la eficiencia en las líneas de distribución de media tensión, la cual fundamenta la investigación realizada. Se buscarán fuentes confiables como libros, revistas, publicaciones oficiales de universidades, publicaciones de páginas oficiales reconocidas, con el objetivo de tener una base confiable para realizar este estudio.

- Con base en la investigación realizada se describirán las pérdidas por efecto Joule y por efecto corona que se presentan en la líneas eléctricas de media tensión.
- Con base en los cálculos realizados de las pérdidas eléctricas se seleccionará el diseño del sistema de distribución más eficiente, que posee el mayor flujo de corriente eléctrica.
- Se describirán las ventajas y desventajas de un sistema de distribución eléctrico eficiente.

7.2. Fase 2. Investigación de campo

Se realizarán una visita a las salidas de media tensión para verificar el estado actual de las líneas, se tomaran mediciones de corriente e identificar puntos críticos donde existan pérdidas eléctricas en las salidas de media tensión de área de Nor-Occidente, Huehuetenango, por medio de un análisis visual y termográfico

7.3. Fase 3. Análisis e Interpretación de datos

Se realizará un análisis comparativo de las pérdidas encontradas en campo, contra las pérdidas que se obtendrían con un sistema de distribución más eficiente en las salidas de media tensión de la región Nor-Occidente.

7.4. Fase 4. Propuesta

Se presentará la propuesta del sistema de distribución eléctrico más eficiente para instalar en las líneas de media tensión área de Nor-Occidente, Huehuetenango, el cual tendrá bajas pérdidas eléctricas y un tiempo de recuperación de la inversión a mediano plazo. Se mencionarán los beneficios que tendría si se obtuviera un sistema de distribución eficiente.

8. MARCO TEÓRICO

8.1. Ahorro energético y eficiencia energética

A continuación se exponen los conceptos de ahorro energético y eficiencia energética.

8.1.1. Energía

Es la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo, la energía no se crea ni se destruye simplemente se transforma (Canarias, 2008).

La energía puede manifestarse de distintas formas:

- Energía gravitacional
- Energía cinética
- Energía eléctrica
- Energía magnética
- Energía química
- Energía nuclear o energía atómica (Canarias, 2008).

8.1.2. Ahorro energético

Como su nombre lo indica, es ahorrar energía por medio de un cambio en los hábitos de consumo, se deben eliminar los hábitos que despilfarran energía. Ahorro energético es, por ejemplo, apagar las luces al salir de una habitación, desconectar cargadores cuando no se están utilizando, apagar el televisor

cuando no se está viendo, viajar en autobuses, estos son algunos de los hábitos que se tienen que cambiar para ahorrar energía (Canarias, 2008).

8.1.3. Eficiencia energética

Es minimizar la cantidad de energía necesaria para satisfacer las necesidades básicas sin afectar su calidad, sin necesidad de cambiar los hábitos. La eficiencia energética se puede obtener con la sustitución de un equipo por otro con una nueva tecnología y la misma necesidad, pero que consuma menos electricidad (Canarias, 2008).

- **Objetivos de la eficiencia energética**

La eficiencia energética tiene 3 objetivos primordiales, los cuales son:

- **Ahorro energético:** implica no solo la reducción del consumo de energía, sino también la reducción de emisiones de dióxido de carbono que producen un efecto negativo para el medio ambiente.
- **Mejora de la productividad:** es optimizar el rendimiento de los equipos y de los procesos, facilitando el mantenimiento de los equipos.
- **Disponibilidad y fiabilidad:** esto debe garantizar la continuidad del suministro, maximizar el tiempo operativo y alcanzar la calidad requerida (Electric, 2010).

8.1.4. Tipos de medidas de ahorro y eficiencia energética

Las medidas para lograr el ahorro y la eficiencia energética son (Canarias, 2008):

- Medidas de carácter tecnológico
- Medidas para un consumo responsable
- Medidas instrumentales

8.2. Generalidades líneas eléctricas de media tensión

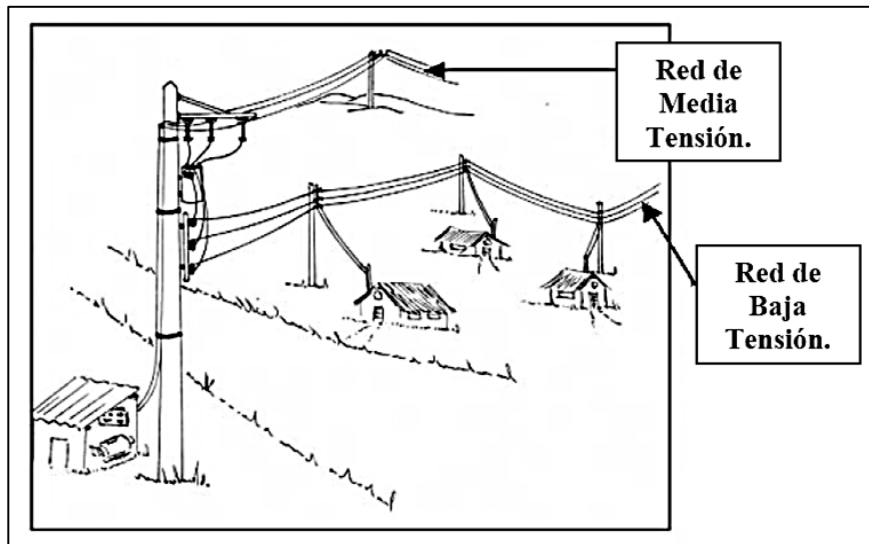
Es el término que se usa para referirse a instalaciones con tensiones, dichas instalaciones son frecuentes en líneas de distribución eléctrica que finalizan en centros de transformación.

8.2.1. Generalidades líneas de distribución

Una red de distribución está constituida por conductores, postes, aisladores y herrajes, con el propósito de distribuir la energía eléctrica a los diferentes puntos de consumo. Una red de distribución de acuerdo al nivel de voltaje que maneja puede ser (Poyón, 2009):

- Baja tensión (BT), cuando se manejan voltajes hasta los 1 000 voltios.
- Media tensión (MT), cuando se maneja desde los 1 000 hasta menos de 69 000 voltios.

Figura 1. **Red de distribución de media y baja tensión**



Fuente: POYÓN, L. *Técnicas para mantenimiento, conversiones y mejoras en líneas de distribución*. p. 1.

La línea de distribución es el elemento del sistema de potencia que se encarga de transportar la energía eléctrica desde el sitio en donde se genera hasta los centros de transformación, y de los centros de transformación las líneas de distribución son las encargadas de llevarlas hasta el sitio donde se consume.

El diseño de una línea de distribución comprende el cumplimiento de ciertas normas de seguridad para su construcción y mantenimiento, así como la selección del tipo de conductor, sistemas de soporte para el conductor seleccionado, trayectoria de la línea y el equipo necesario, que darán la calidad del servicio por el costo promedio global más bajo durante toda la vida en servicio (Poyón, 2009).

Las líneas de distribución aéreas por lo general están constituidas por:

- Conductores desnudos
- Soportes (torres, postes de concreto)
- Aisladores

Las líneas de distribución de media tensión generalmente operan en tensiones entre 13,8kV a 34,5kV, las líneas de alta tensión operan de 69,5 kv a 230kV.

Un buen diseño de líneas de distribución debe cumplir con lo siguiente:

- Alta continuidad de servicio
- Operación segura
- Larga vida del material y equipos
- Bajo costo de mantenimiento
- Aceptabilidad desde el punto de vista ambiental
- Construcción estética y económica

Para realizar un buen diseño de líneas de distribución se debe realizar una serie de actividades orientadas a estudiar los parámetros eléctricos, ambientales y mecánicos estructurales, considerando los costos más bajos que cumplan con el funcionamiento óptimo de la línea (Poyón, 2009).

8.2.2. Conductores

En la construcción de líneas aéreas de distribución de energía eléctrica se utilizan conductores desnudos. Los materiales más utilizados que forman un conductor eléctrico son aquellos que conducen corriente eléctrica cuando

estos conductos se ven sujetos a una diferencia de potencial entre sus extremos (Oliva, 2013).

Los materiales utilizados en la construcción de conductores para líneas eléctricas aéreas de distribución deben tener las siguientes características:

- Tener una baja resistencia eléctrica
- Presentar elevada resistencia mecánica
- Costo limitado

Los materiales que comúnmente satisfacen estas características son (Oliva, 2013):

- Cobre
- Aluminio y aleaciones de aluminio
- Hierro
- Acero

En la actualidad, los conductores de cobre ya no son usados ya que el aluminio y sus aleaciones los han reemplazado (Oliva, 2013).

8.2.2.1. Tipos de conductores

En la actualidad, los conductores más utilizados para líneas aéreas de distribución son la combinación aluminio, acero, aleación de aluminio para adquirir características mecánicas y eléctricas, los tipos de conductores más utilizados son los siguientes (Eprysmian, 2008).

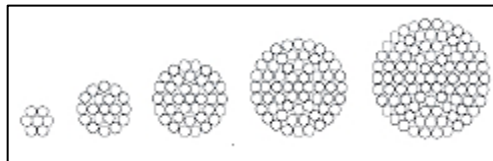
- Conductores de aluminio AAC

- Conductores de aluminio con aleación AAAC
- Conductor de aluminio con refuerzo de acero (ACSR)
- Conductor de aluminio con refuerzo de aleación (ACAR)

8.2.2.1.1. Conductor de aluminio (AAC)

Este tipo de conductor está compuesto por alambres de aluminio tipo EC 1350, se utiliza para líneas de transmisión y distribución, posee una baja tensión mecánica, por lo que es el menos usado de los cuatro (Morales Orellana, 2014) (Eprysmian, 2008).

Figura 2. Corte transversal conductores de aluminio ACC



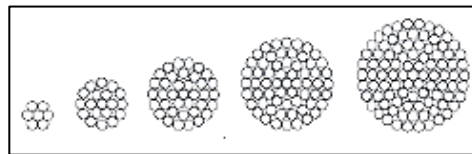
Fuente: MORALES ORELLANA, C. *Conductores de aluminio*. p. 8.

8.2.2.1.2. Conductor de aluminio con aleación (AAAC)

Este tipo de conductor está compuesto por hilos de aleación de aluminio 6201 de alta resistencia a la tensión. Básicamente, este material es una aleación con agregados de magnesio y silicio. Su tensión es comparada con la del conductor ACSR, este fue creado con alta resistencia mecánica con aluminio 1350 sin necesidad de núcleo de acero. Son utilizados en lugares donde existen problemas de contaminación y corrosión. La desventaja de estos

conductores es que son susceptibles a la vibración comparándolos con los conductores ACSR (Morales Orellana, 2014)(Eprysmian, 2008).

Figura 3. **Corte transversal conductores de aluminio con aleación AAAC**

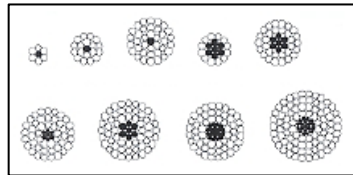


Fuente: MORALES ORELLANA, C. *Conductores de aluminio*. p. 9.

8.2.2.1.3. Conductor de aluminio con refuerzo de acero (ACSR)

Es un conductor de aluminio reforzado con núcleo de acero, está compuesto de hilos de una o más capas de aluminio 1350, con núcleo de hilos concéntricos de acero galvanizado de alta resistencia a la tensión. Se pueden tener numerosas combinaciones de capas de aluminio trenzado o acero en el núcleo, lo que define la capacidad de corriente y las características mecánicas de tensión. El núcleo de acero puede ser fabricado de tres diferentes capas de peso de zinc. La Norma ASTM-475 define las cubiertas de zinc en clases A, B y C para proveer la protección contra la corrosión, la clase C es la capa más gruesa. La desventaja de este conductor es que el núcleo de acero reduce la resistencia a la corrosión (Morales Orellana, 2014) (Eprysmian, 2008).

Figura 4. **Conductor de aluminio con refuerzo de acero ACSR**

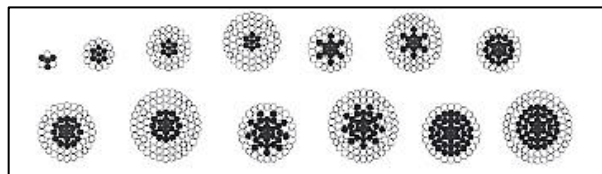


Fuente: MORALES ORELLANA, C. *Conductores de aluminio*. p. 10.

8.2.2.1.4. **Conductor de aluminio con refuerzo de aleación (ACAR)**

Este tipo de conductor está compuesto de aluminio 1350 trenzado reforzado en el núcleo y otros alambres distribuidos en capas de alta resistencia de aleación 6201. Al variar la cantidad de alambres reforzados 6210 se puede lograr casi todas las propiedades deseadas de resistencias a la tensión y conductividad (Morales Orellana, 2014) (Eprysmian, 2008).

Figura 5. **Conductor de aluminio con refuerzo de aleación ACAR**



Fuente: MORALES ORELLANA, C. *Conductores de aluminio*. p. 9.

8.2.3. Selección del conductor

El conductor es uno de los elementos más importantes en el diseño de líneas aéreas de distribución, es por ello que es esencial seleccionar el tipo de conductor y la sección más apropiada para la óptima eficiencia de operación. Para seleccionar el tipo de conductor adecuado se deben realizar los siguientes cálculos:

- Cálculo eléctrico
- Cálculo mecánico
- Cálculo económico

Los conductores de las líneas de distribución deben cumplir los siguientes requisitos:

- Resistencia mecánica adecuada
- Capacidad de conducción de corriente requerida
- Pérdidas aceptables (por efecto Joule y corona)

8.2.3.1. Cálculo de conductores eléctricos

El objetivo principal del cálculo eléctrico en conductores de líneas eléctricas es minimizar las pérdidas de energía en las líneas de distribución, es por ello que el cálculo eléctrico es muy importante, las mayores pérdidas de energía son debido al efecto Joule y al efecto corona. Las líneas de distribución tienen cuatro parámetros eléctricos que afectan la capacidad y calidad del sistema de transporte, estos parámetros eléctricos son (Hernandez & Gomez, 2010):

- Resistencia
- Inductancia
- Capacitancia
- Conductancia

8.2.3.1.1. Parámetros de líneas de media tensión

A continuación se presentan los parámetros de líneas de media tensión.

- Resistencia

Los conductores eléctricos presentan una oposición o resistencia al paso de la corriente eléctrica. Esta resistencia convierte la energía eléctrica en calor, lo cual provoca una pérdida de energía. La resistencia del conductor varía con la temperatura y es inversamente proporcional al diámetro del conductor (Hernandez & Gomez, 2010)(Checa, 1988).

$$R = \frac{\rho L}{A} \text{ } [\Omega]$$

Resistencia por kilómetro

$$Rk = \frac{R}{L} = \frac{10\rho}{A} \text{ } [\Omega/\text{mts}]$$

Donde

R: resistencia en ohm

ρ : resistividad del conductor ohm/metros

L: longitud del conductor en metros

A: sección del conductor en metros cuadrados

La resistencia se obtiene generalmente para 20 °C, el ajuste por temperatura del conductor se efectúa a través de la fórmula siguiente.

$$R_t = R[1 + \alpha * (T - 20)] \text{ [\Omega/km]}$$

$$R_{ca} = R_t(1 + y_s) \text{ [\Omega/km]}$$

Donde

Rca: resistencia del conductor con corriente alterna a la temperatura t

Rt: resistencia del conductor corriente alterna a la temperatura t

R: resistencia del conductor con corriente continua a 20 °C

α : coeficiente de variación de la resistividad a 20 °C en función de la temperatura

T: temperatura de servicio del conductor

ys: factor de efecto pelicular $9,40 \cdot 10^{-3}$.

- Inductancia

Es consecuencia del hecho de que todo conductor por el que circula una corriente tiene asociada una inductancia debido al flujo interno y externo que se produce en el conductor, por el campo magnético que se forma (Checa, 1988) (Hernandez & Gomez, 2010).

$$L = \frac{1}{m} \left(\frac{1}{2n} + 4.605 \log(Dm/req) \right) * 10^{-4} \text{ [H/km]}$$

La reactancia inductiva se encuentra:

$$X = 2\pi fl \text{ [\Omega/km]}$$

Donde

L: inductancia

f: frecuencia

m : número de circuitos

n: número de subconductores

Dm: distancia media geométrica

req: radio equivalente

$req = r$ (milímetros, para configuración simple)

La distancia media geométrica [Dm] para un circuito simple:

$$Dm = \sqrt[3]{d12 * d23 * d31} \text{ [mm]}$$

Donde

Dm: distancia media geométrica (circuito simple)

- Capacitancia

Se da debido a que las líneas de distribución se comportan como grandes capacitores, ya que por las fases circula una corriente variable y están separadas por un dieléctrico (aire), por lo que se produce un campo eléctrico cuyo condensador depende del área de los conductores, la distancia entre conductores y la corriente que circula. La capacitancia se da en Faradios y se calcula de la siguiente manera (Checa, 1988)(Hernandez & Gomez, 2010).

$$C = m \frac{24.2}{\log \frac{Dm}{req}} * 10^{-9} \text{ [F/km]}$$

La reactancia capacitiva se calcula:

$$B = 2\pi f c$$

Donde

C: capacitancia

f: frecuencia

m : número de circuitos

n: número de subconductores

Dm: distancia media geométrica en milímetros

req: radio equivalente en milímetros

$$req = r(\text{milímetros, para configuración simple})$$

La distancia media geométrica [Dm] para un circuito simple, como se observa en la figura 7:

$$Dm = \sqrt[3]{d_{12} * d_{23} * d_{31}} \text{ [mm]}$$

Donde

Dm: distancia media geométrica (circuito simple)

d12: distancias entre conductores 1, 2 en milímetros

d23: distancias entre conductores 2, 3 en milímetros

d31: distancias entre conductores 3, 1 en milímetros

$$Dm = \frac{D1 * D2}{D3} \text{ [mm]}$$

$$D1 = \sqrt[3]{d_{12} * d_{23} * d_{31}} \text{ [mm]}$$

$$D2 = \sqrt[3]{d_{1b} * d_{2c} * d_{3a}} \text{ [mm]}$$

- Conductancia

Es la facilidad que un material ofrece al paso de la corriente eléctrica. Si el aislamiento de las líneas fuera perfecto, no habría corriente alguna entre los conductores y el apoyo, pero en la realidad esto no es así. Dicha corriente puede ser por la superficie de los aisladores o a través de su masa, la cual da lugar a las pérdidas por conductancia, que serían nulas si el aislamiento fuese total.

El hecho real es que existen tales corrientes, por grande que sea el aislamiento de las líneas. La intensidad de la corriente debido a la conductancia será, según la ley de Ohm (Checa, 1988).

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde

I: intensidad de corriente

V: Diferencia de potencia en voltios, entre conductor y tierra (apoyo de la línea)

R: resistencia del aislamiento en ohmios

Conductancia o perditancia [G] es el valor inverso a dicha resistencia:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{V}$$

$$I = GV$$

$$P = IV = GV^2$$

$$G = \frac{P}{V^2}$$

$$G = \frac{P}{\frac{U^2}{3}} * 10^{-3} [\text{S/km}]$$

Donde

G: conductancia en Siemens/kilómetros

P: pérdida de potencia por fase debido a la conductancia de los aisladores U: tensión nominal de la línea.

$$P = \frac{1000}{a_m} * wn \text{ [W/km]}$$

Donde

a_m : vano medio de la línea en metros

w: pérdida por aislador

n: número por circuitos

Si se consideran las siguientes pérdidas de potencia por cadena de aislador:

Tabla I. **Pérdidas de potencia por cadena de aislador**

	69Kv	138kV	230kV
Pérdidas con buen tiempo [W/cadena]	5	10	20
Pérdidas con mal tiempo [W/cadena]	25	50	100

Fuente: elaboración propia.

8.2.3.2. Pérdidas eléctricas

- Efecto Joule

La generación de calor producida por la oposición al paso de corriente eléctrica en los conductores aéreos desnudos es uno de los mayores parámetros que se deben considerar durante el diseño y operación de las líneas de distribución. La temperatura se produce como consecuencia del calor

generado, tiende a expandir el conductor y a estirarlo, lo cual resulta en una mayor flecha que podría ocasionar riesgos de operación. Adicionalmente a los cambios en las propiedades físicas del cable causadas por altas temperaturas, las consecuencias económicas asociadas con las pérdidas por calentamiento se traducen en energía no disponible para el servicio de cargas que producirán ingresos (Boj De León, 2004).

- Pérdidas por efecto Joule

Las pérdidas por efecto Joule (I^2R) en condiciones típicas de operación de los conductores, considerando su correspondiente resistencia eléctrica a la temperatura de operación, se calculan así:

$$P_{jou} = I^2 * R_{totales} = 3 I^2 * R_{ac}$$

Donde

I: corriente de carga nominal en amperios.

Rac: resistencia a la temperatura de operación del conductor en ohms/milla y a frecuencia nominal.

Para los casos donde se consideren dos conductores por fase, la resistencia equivalente del circuito será el doble de la resistencia del conductor y por cada conductor circulará la mitad de la corriente, se dividirán las pérdidas en los conductores, el total de pérdidas por efecto Joule por fase será el doble del conductor(Cabrera Letona, 2006) (Boj De León, 2004).

- Efecto corona

Son descargas causadas por la ionización del aire que rodea al conductor cuando este se encuentra energizado. Puede oírse como un zumbido, principalmente en época lluviosa, y eventualmente como un fenómeno visible durante la noche como un resplandor violeta.

Si se somete un dieléctrico a un campo eléctrico cuyo gradiente de potencial se va aumentando, se llegará a un valor del gradiente de potencial que exceda a su rigidez dieléctrica y este se perforará. Este valor del gradiente se llama gradiente disruptivo. En particular, si se somete un conductor de una línea de distribución a un voltaje creciente, el gradiente de potencial en la superficie del conductor crecerá y llegará a un instante en el cual será mayor que el gradiente disruptivo del aire. En ese momento se producirá la ionización del aire que rodea al conductor manifestándose por una crepitación o ruido y luminosidad azulada que podrá percibirse en la oscuridad. Los efectos que generalmente se consideran en el estudio del efecto corona son los siguientes (Cabrera Letona, 2006) (Boj De León, 2004):

- Efecto audible, el cual se debe a la ionización del aire y producción de ozono, este ruido es muy suave y en ocasiones no perceptible.
- Efecto audible declarado, es un ruido relativamente fuerte y fácilmente perceptible.
- La presencia de efluvios, la cual se manifiesta como un desprendimiento intermitente de chispas en la línea.
- Efecto luminoso, corresponde a la presencia de un halo luminoso, algunas veces intermitente, alrededor de los conductores y que es visible cuando las condiciones atmosféricas lo permiten.

Las pérdidas por efecto corona se producen en los conductores de línea de distribución cuando el gradiente de voltaje en las cercanías inmediatas de la superficie del conductor supera la resistencia de ruptura del aire. La distribución de aire en esta región genera calor, luz o ruido audible, y la interferencia de radio. Todas las manifestaciones de la liberación de energía que se presentan en este fenómeno se conocen como pérdidas por efecto corona(Cabrera Letona, 2006)(Moralez González, 1999).

- Pérdidas por efecto corona

Se dan cuando la ionización por choque, ya sea local e interna (efluvios) o generalizada a toda la superficie del conductor, libera iones positivos y negativos. En cada semiciclo, los iones que tienen signo opuesto al del conductor son atraídos y neutralizados por él, los que tienen el mismo signo son repelidos y se alejan aglomerándose con moléculas neutras para formar grandes iones. A medida que se alejan, van estando sometidos a un campo eléctrico más débil y su velocidad va disminuyendo (Cabrera Letona, 2006)(Boj De León, 2004).

Antes de que cambie la polaridad del conductor alcanzan distancias del orden de algunas decenas de centímetros. Al cambiar la polaridad son atraídos y aumentan la carga y la intensidad del campo en la superficie del conductor, lo que causa que la ionización por choques se reinicie antes de que el voltaje haya vuelto a alcanzar el valor crítico. Las primeras cargas liberadas neutralizan las cargas que se acercan al conductor; después se forman cargas de signo contrario que se alejan del conductor y el proceso se repite. Este fenómeno se da cuando se rompe la rigidez dieléctrica del aire (Cabrera Letona, 2006)(Moralez González, 1999).

8.2.4. Cálculo mecánico

El cálculo de los conductores eléctricos consiste en determinar la tensión mecánica que soportan y la flecha mecánica que asumen los conductores en el momento que están en funcionamiento. Los cálculos mecánicos del conductor dependen de los siguientes parámetros (Rios, 2001)(Cantu Gutierrez, Jimenez Meza,& Conde Enriquez, 2006).

- La tensión mecánica a la que estarán sometidos los conductores.
- Las condiciones meteorológicas, geométricas y ambientales de la zona de las líneas.
- Materiales de construcción de los conductores.
- Propiedades de los conductores.

8.2.4.1. Tensión mecánica de los conductores

Los conductores, cuando son instalados entre dos apoyos, están sometidos a una tensión constante. Con el tiempo, los conductores frecuentemente se alargan o comprimen dependiendo de la temperatura a la que están sometidos. La tensión a la que estarán sometidos los conductores en cualquier punto de la catenaria está dada por la siguiente ecuación (Ríos, 2001)(Cantú Gutiérrez, Jimenez Meza,& Conde Enriquez, 2006):

$$T = T_0 \cosh \frac{x}{H} \text{ [daN]}$$

Donde

T: tensión

T_0 : componente en el punto tangencial a la catenaria

H: parámetros de la catenaria

La dirección de esta tensión en cualquier punto será tangencial a la catenaria. La tensión en el punto medio de un vano no nivelado se obtiene por la siguiente expresión:

$$T_m = T_0 \cosh \frac{x_m}{H} \text{ [daN]}$$
$$x_m = H \sinh^{-1} \frac{\frac{b}{2H}}{\sinh \frac{a}{2H}} \text{ [m]}$$

Donde

T_m : tensión del cable en el punto medio del vano

x_m : coordenada en el eje x del punto medio del vano en metros

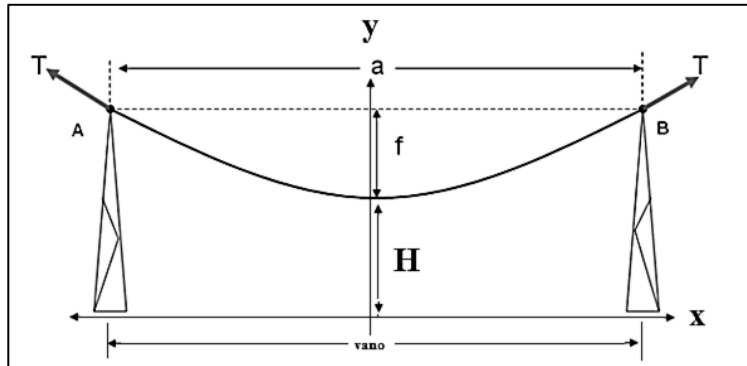
a: longitud del vano medido en la dirección longitudinal en metros

b: Desnivel del vano medido en la dirección vertical en metros

8.2.4.2. Catenaria

Es la línea de equilibrio de un conductor pesado, homogéneo, flexible, suspendido entre dos puntos (apoyos) y sometido a una fuerza constante. La catenaria es la curva que surge al colgar un conductor suspendido entre dos apoyos, la forma de la catenaria es equivalente a la de una parábola. En la figura 8 se puede observar que un conductor suspendido entre dos apoyos tiene una flecha que es la mayor separación vertical entre la recta imaginaria que une los dos puntos de donde se cuelga el cable y el punto más bajo de la curva de la catenaria. El vano es la distancia entre apoyos (Ríos, 2001) (Cantú Gutiérrez, Jimenez Meza, & Conde Enriquez, 2006).

Figura 6. **Concepto catenaria, flecha y vano**



Fuente: elaboración propia, a partir de BOJ, E. *Catenaria*. p. 67, empleando Adobe Illustrator.

La catenaria de un conductor suspendido entre dos apoyos está dada por:

$$y = H \cosh \frac{x}{H} \text{ [m]}$$

$$H = \frac{T_0}{p} \text{ [m]}$$

Donde

y: coordenada en el eje y del conductor en metros

x: coordenada en el eje x del conductor en metros

T_0 : tensión en el punto tangencial de la catenaria

p: fuerza por unidad de longitud o peso aparente del conductor

La proyección horizontal de la tensión (T_h) en cualquier punto de la curva es constante e igual a la tensión del punto tangencial horizontal (T_0) que se denomina vértice de la catenaria.

$$T_0 = T \cos \alpha = cte \text{ [daN]}$$

Donde

α : ángulo formado por la tensión del conductor T y su componente horizontal.

8.2.4.3. Flecha

El cálculo de la flecha en líneas de distribución es importante para el cálculo mecánico, ya que calcula la distancia del conductor al suelo. La flecha máxima en un vano no lineal desnivelado (ver figura 9) se calcula así (Ríos, 2001) (Cantú Gutiérrez, Jimenez Meza, & Conde Enriquez, 2006):

$$f = \frac{T_m}{p} \left[\cosh \left(\frac{a}{2H} \right) - 1 \right] [\text{m}]$$

Donde

f: flecha en metros

T_m : tensión del conductor en el punto medio del vano

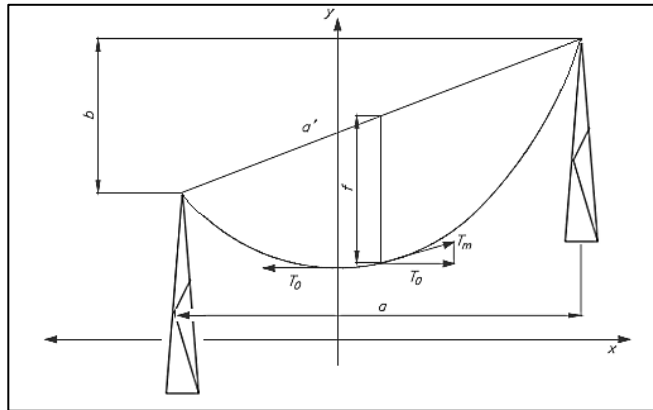
p: fuerza por unidad de longitud o peso del conductor

a: longitud del vano medido en la dirección longitudinal en metros

H: parámetro de la catenaria en metros

b: desnivel del vano medido en la dirección vertical en metros

Figura 7. Flecha con apoyos desnivelados



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator.

La ecuación del cambio de condiciones permite calcular la tensión a la que estará sometido el conductor a una determinada temperatura y sobrecarga, partiendo de una tensión hallada previamente para condiciones iniciales estables. Estas condiciones iniciales incluirán los límites estáticos y dinámicos.

$$T_{02}^3 + T_{02}^2 * \left[\alpha(\theta_2 - \theta_1) * S * E + \frac{a^2 p_1^2 S E}{24 T_{01}^2} - 1 \right] [m]$$

Donde

T_{02} : componente horizontal de la tensión del conductor en las condiciones finales.

T_{01} : componente horizontal de la tensión del conductor en las condiciones iniciales.

α : coeficiente de dilatación del conductor.

θ_2 : temperatura del conductor en las condiciones finales.

θ_1 : temperatura del conductor en las condiciones iniciales.

S: sección total de conductor.

E: módulo de elasticidad del conductor.

a: longitud del vano medido en la dirección longitudinal en metros.

p_1 : peso aparente del conductor en las condiciones iniciales.

p_2 : peso aparente del conductor en las condiciones finales.

f_1 : flecha del cable en metros.

Al referirse al peso aparente del conductor se debe tener en cuenta las sobrecargas que están actuando sobre él.

$$p_v = 4,7238V^2d10^{-6}$$

$$P_a = \sqrt{p^2 + p_v^2}$$

Donde

V: velocidad del viento en kilómetros sobre hora.

p_v : fuerza por unidad de longitud del viento sobre el conductor.

d: diámetro del conductor.

p_a : fuerza por unidad de longitud o peso aparente del conductor en condiciones de sobrecarga.

p: peso por unidad de longitud.

8.3. Estructuras y aislamiento en líneas de media tensión

A continuación se muestran las estructuras y aislamiento en líneas de media tensión.

8.3.1. Estructuras o apoyos

La función de los apoyos o estructuras es mantener los conductores alejados entre sí y del suelo, para evitar arcos eléctricos entre conductores o problemas (accidentes) debajo y al lado de los mismos.

Los apoyos en líneas de distribución son estructuras de gran altura, utilizados para soportar los conductores eléctricos aéreos, los aisladores y los herrajes que los sostienen. Pueden tener gran variedad de formas según su tamaño y su función(Boj de León, 2004).

8.3.1.1. Tipos de estructuras

Existen varios tipos de estructuras para soportar los conductores eléctricos de las líneas de distribución: postes de concreto autoportados, postes de concreto soportados por retenidas, postes metálicos autoportados, postes de madera. El tipo de estructura depende de la ubicación, la importancia, la vida deseada, el dinero disponible para inversión inicial, el costo de mantenimiento y la disponibilidad del material (Boj de León, 2004).

8.3.1.1.1. Postes

Son los apoyos que constan de un solo cuerpo vertical, estos pueden ser de madera, hormigón y metal. Los postes son utilizados en las estructuras compactas, en espacios reducidos, donde la utilización de torres no es permitida (Boj de León, 2004)(Oliva, 2013).

- Fuerzas mecánicas en estructuras:

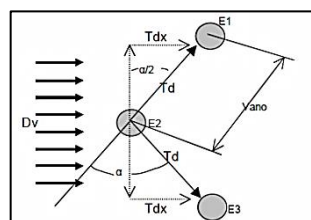
Las torres de las líneas aéreas de transmisión deberán tener suficiente resistencia mecánica para soportar las fuerzas propias (peso de la estructura y herrajes) y las debidas a las condiciones meteorológicas a que estén sometidas según el lugar en que se ubiquen, con los factores de sobrecarga adecuados (Boj de León, 2004).

Las fuerzas mecánicas que deben soportar las estructuras son las siguientes:

- Fuerzas transversales
- Fuerzas verticales
- Fuerzas longitudinales

El análisis de las aplicaciones de las fuerzas sobre las estructuras, se apoyará en la figura 10.

Figura 8. **Fuerzas aplicadas en las torres**



Fuente: BOJ, E. *Catenaria*. p. 60.

Una vez determinada la localización y las alturas de las estructuras, se seleccionan los tipos de estructuras en función del claro de viento, el claro de peso y el ángulo de deflexión en cada caso(Boj de León, 2004).

8.3.2. Aisladores

Los aisladores de las líneas de distribución de alta tensión tienen dos funciones principales, las cuales son:

- **Mecánica:** los aisladores deben cumplir la función de sujetar mecánicamente los conductores a las estructuras, deben tener la suficiente resistencia mecánica para soportar las cargas y sobrecargas combinadas que aplican los conductores a las estructuras, evitando que se muevan longitudinal o transversalmente, debido a las variaciones de temperatura, viento y a vibraciones producidas por los rayos o arcos de energía.
- **Eléctrica:** como su nombre lo indica, los aisladores deben evitar el paso de corrientes desde los conductores a las estructuras o tierras, dando la distancia dieléctrica requerida en el aire, resistiendo a la tensión eléctrica permanente de la línea y todas sus condiciones desfavorables como la lluvia, contaminación y sobretensiones que se deban a fenómenos atmosféricos u operaciones efectuadas en la línea, especialmente en maniobra de interruptores.

Los aisladores son construidos generalmente de vidrio, plástico, porcelana y actualmente se están utilizando aisladores poliméricos. Las principales características que influyen en la selección de los aisladores son (Boj de León, 2004):

- Diámetro y la distancia de fuga.
- Comportamiento deseado de los aisladores a las sobretensiones por rayo y por maniobras de interruptores.

- Capacidad del aislador de soportar las cargas mecánicas de tensión y compresión, así como el tipo de acoplamiento con los herrajes.

8.3.2.1. Tipos de aisladores

Los aisladores, para las líneas de distribución aéreas, se construyen de porcelana, polímero o vidrio, los más utilizados son los de polímero. En estos momentos, los aisladores poliméricos se encuentran a precios muy parecidos o a veces inferiores a las cadenas equivalentes de porcelana o vidrio. Si a este aspecto se le añade los costos reducidos de transporte y desinstalación, las ventajas económicas se vuelven aún más atractivas(Guevara García, 2005)(Institute, 1982).

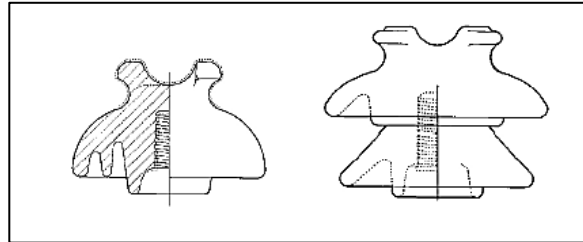
Las principales características que influyen en la selección de los aisladores poliméricos son las siguientes:

- Distancia de fuga.
- Comportamiento deseado del aislador a sobretensiones por rayo y por maniobras de interruptores.
- Capacidad del aislador de soportar las cargas mecánicas de tensión y compresión, así como el tipo de acoplamiento con los herrajes.

8.3.2.1.1. Aisladores de espiga

Estos aisladores se utilizan en líneas eléctricas de distribución desde 13,8 kV, 34,5 kV hasta 69 kV. Son fabricados de porcelana o vidrio. Van montados sobre cruceros, cuando es una línea de dos o tres fases, y sobre un pin o espiga en la punta del poste, cuando son líneas monofásicas (Guevara García, 2005).

Figura 9. **Aisladores de espiga de 13,8 y 34,5 kV**



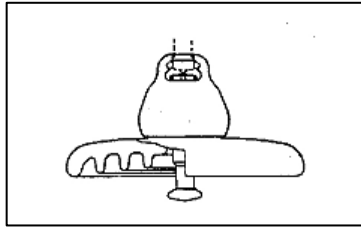
Fuente: GUEVARA, G. *Aisladores de espiga*. p. 17.

8.3.2.1.2. Aisladores de suspensión

Estos aisladores son fabricados con diversos materiales, como porcelana, vidrio y polímeros.

Los más utilizados son los de vidrio o porcelana. Son discos de 10" de diámetro por 5 3/4". Se denominan aisladores de suspensión porque van colocados en cadenas de suspensión. El número de aisladores por cada cadena puede variar dependiendo de su voltaje y su función, hay cadenas de suspensión, cadenas para ángulo y cadenas para remate. También existen dobles cadenas de aisladores en suspensión, en ángulo y en remate, sujetas en sus soportes (Guevara García, 2005).

Figura 10. **Aisladores tipo suspensión**

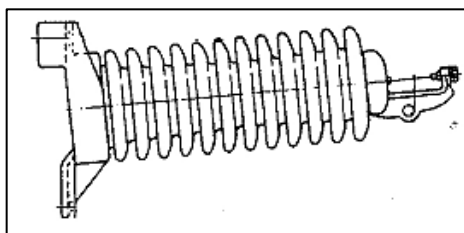


Fuente: GUEVARA, G. *Aisladores de espiga*. p. 18.

8.3.2.1.3. **Aisladores tipo horizontal**

Estos aisladores son fabricados con diversos materiales, como porcelana, vidrio y polímeros. Son muy funcionales porque ocupan muy poco espacio en la estructura, por lo que su derecho de vía es más reducido, se les denomina aislador tipo poste(Guevara García, 2005)(Institute, 1982).

Figura 11. **Aisladores tipo horizontal**



Fuente: GUEVARA, G. *Aisladores de espiga*. p. 19.

9. PROPUESTA DE ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. AHORRO ENERGÉTICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

1.1. Energía

1.2. Ahorro energético

1.3. Eficiencia energética

1.3.1. Objetivos de la eficiencia energética

1.4. Tipos de medidas de ahorro y eficiencia energética

1.5. Evaluación de la eficiencia de líneas de distribución

2. CONDUCTORES ELÉCTRICOS

2.1. Tipos de conductores

2.2. Tabla de conductores

2.3. Selección de conductores

2.4. Análisis económico en conductores

3. GENERALIDADES LÍNEAS ELÉCTRICAS DE MEDIA TENSIÓN

3.1. Parámetros de líneas de media tensión

- 3.2. Eficiencia en conductores eléctricos
 - 3.3. Cálculo de selección de conductores
 - 3.3.1. Cálculo eléctrico
 - 3.3.1.1. Parámetros eléctricos
 - 3.3.1.2. Efecto Joule
 - 3.3.1.3. Efecto corona
 - 3.3.2. Características mecánicas
-
4. ESTRUCTURAS Y AISLAMIENTO EN LÍNEAS DE MEDIA TENSIÓN
 - 4.1. Estructuras
 - 4.1.1. Especificaciones generales
 - 4.1.2. Tipos de estructuras
 - 4.2. Aisladores
 - 4.2.1. Tipos de aisladores
 - 4.2.2. Cálculo eléctrico
 - 4.2.3. Cálculo mecánico
 - 4.2.4. Cálculo de cadenas de aisladores
-
5. APLICACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN 13,8 KV AL SISTEMA DE DISTRIBUCION DE NOR OCCIDENTE, HUEHUETENANGO.
 - 5.1. Cálculo de diferentes tipos de conductor
 - 5.1.1. Pérdidas por efecto Joule
 - 5.1.2. Pérdidas por efecto corona
 - 5.2. Análisis de flujo de corriente programa Neplan
 - 5.3. Presentación de datos obtenidos de las pérdidas actuales
 - 5.3.1. Resultados de inspección exhaustivas
 - 5.3.2. Medición de corrientes
 - 5.3.3. Análisis Termográfico

- 5.3.4. Resultados de las pérdidas eléctricas, técnicas y comerciales de las salidas de media tensión.
- 5.3.5. Evaluación de la eficiencia energética
- 5.3.6. Costo total de las pérdidas de potencia
- 5.3.7. Evaluación de la eficiencia de las líneas de distribución
- 5.4. Análisis comparativo
- 5.5. Evaluación técnico-económico
- 5.6. Propuesta del conductor más eficiente

6. PRESENTACIÓN DE RESULTADO

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Las técnicas a utilizar para el desarrollo del presente trabajo son:

10.1. Técnica de investigación bibliográfica

Con base en la investigación realizada para obtener un sistema de distribución eficiente se utilizara:

- Se realizará un estudio y cálculos matemáticos de los diferentes componentes que intervienen en las líneas de distribución eléctrica de media tensión los cuales tienen efectos negativos en las líneas.
- Efecto Joule: este efecto se utilizará para calcular las pérdidas que se producen en el conductor eléctrico en forma de calor, debido a la oposición que presenta la resistencia al flujo de corriente eléctrica. Las pérdidas por efecto Joule.
- Efecto corona: son descargas causadas por la ionización del aire que rodea al conductor cuando este se encuentra energizado, se utiliza para calcular las pérdidas por efecto corona.

10.2. Trabajo en campo

Se realizarán inspecciones en las salidas de media tensión de la región de Nor-Occidente, Huehuetenango, se obtendrán las mediciones de corrientes en cada una de las salidas de media tensión del área de Nor-Occidente, Huehuetenango.

Se realizará un diagrama del flujo de corrientes para obtener el comportamiento de las líneas.

10.3. Técnicas de análisis

En esta técnica se hará uso de herramientas computacionales para realizar el cálculo comparativo de las pérdidas eléctricas en los diferentes conductores, digitalizando y presentando los resultados obtenidos por medio de un análisis cuantitativo en forma de gráficas y tablas.

11. CRONOGRAMA

A continuación se presenta el cronograma de las actividades propuestas

Tabla II. Cronograma

Actividad	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16	Semana 17	Semana 18	Semana 19	Semana 20	Semana 21
Fase 1 Investigación Bibliografía																					
Desarrollo tema de Eficiencia energética	■																				
Desarrollo tema de Conductores Eléctricos		■																			
Desarrollo tema de Líneas de Distribución			■																		
Desarrollo tema de Estructuras y Aislamientos				■																	
Desarrollo tema de Aislamientos						■															
Cálculo de pérdidas eléctricas							■	■													
Fase 2 Investigación de Campo																					
Visita en campo									■	■	■										
Visita en campo (obtención de perfiles de las mediciones de de corrientes, en las salidas de media tensión del area Nor-Occidente)										■	■	■									
Tabulación de Datos obtenidos en campo													■								
Fase 3 Análisis e Interpretación de datos																					
Cálculos comparativos															■	■					
Cálculos técnico-economico																■	■				
Fase 4 Propuesta																					
Propuesta conductor eficiente																			■	■	
Elaboración conclusiones y recomendaciones																					■
Revisión Final																					■

Fuente: elaboración propia.

12. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

12.1. Recursos materiales

- Equipo de cómputo
- Equipo y mobiliario de oficina
- Internet
- Bibliografía para consulta
- Software
- Cámara fotográfica
- Impresor
- Casco
- Guantes
- Gafas de seguridad
- Pinza perimétrica
- Cámara termográfica
- Vehículos

12.2. Recurso humano

- Asesor de tesis
- Asesoría por parte de los catedráticos de la Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica

12.3. Recursos financieros

A continuación se muestran en la tabla III los recursos financieros

Tabla III. **Recursos financieros**

Núm.	Descripción	Costo
1	Mobiliaria y equipo	Q 5 000,00
2	Internet	Q 1 000,00
3	Equipo de protección personal	Q 50,00
4	Equipo de medición (alquiler)	Q 3 500,00
5	Vehículo transporte (depreciación y consumo combustible)	Q 4 000,00
6	Pago de asesor	Q 2 500,00
Total		Q 16 050,00

Fuente: elaboración propia.

Los gastos económicos serán costeados por el estudiante

El trabajo de investigación es factible, porque se tiene acceso a todos los recursos para realizar las investigaciones necesarias.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

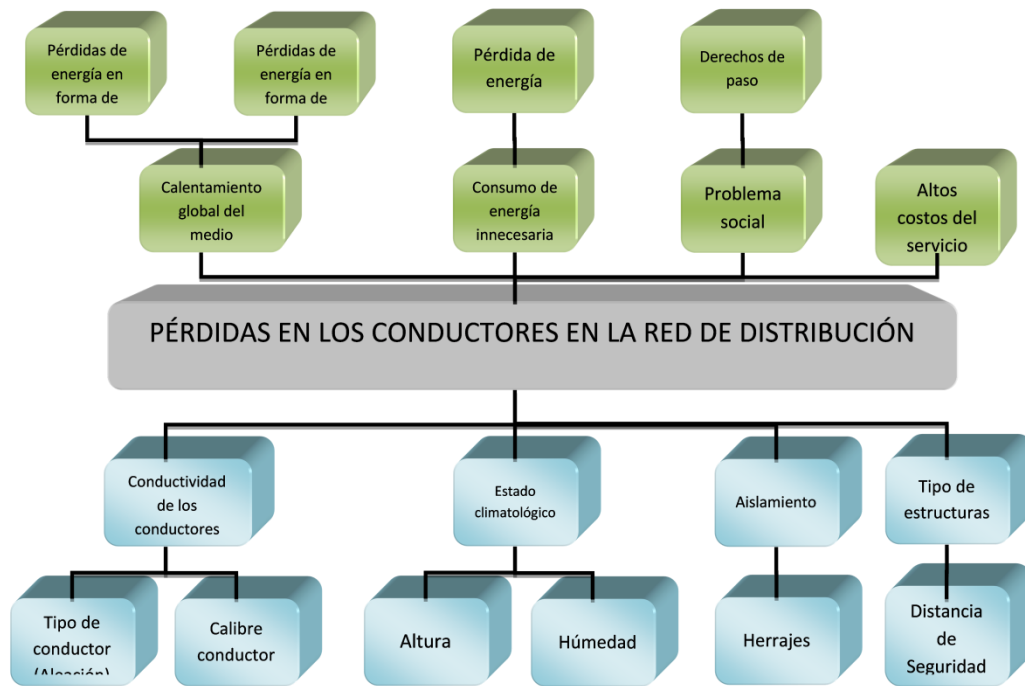
1. Almirair, J. *Líneas de transmisión*. Venezuela: Transmisiones. 2010. 89 p.
2. Álvarez Paz, F. J. *Determinar los retos y las oportunidades que ofrece el mercado eléctrico regional al mercado eléctrico de Guatemala*. Guatemala: Guatemala. 2010. 123 p.
3. Álvarez, J. A. *Análisis técnico de extensiones de línea de media tensión en 13,8 Kv con*. Guatemala: Guatemala. 2012. 345 p.
4. Boj De León, E. U. *Evaluación técnico económica del diseño de líneas de transmisión de 69 Kva utilizando estructuras compactas*. Guatemala: Guatemala. 2004. 78 p.
5. Cabrera Letona, Edgar Raúl. *Análisis del desempeño operacional de la línea de transmisión de 230 Kv Puerto Quetzal-Subestación Alborada*. Guatemala: USAC. 2006. 161 p.
6. Cantú Gutiérrez, V; Jiménez Meza, O & Conde Enríquez, A. *Líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica*. México: Nuevo León. 2006. 356 p.
7. Canarias, I. T. *Energía renovable y eficiencia energética*. Canarias. España: Instituto tecnológico de Canarias.2008. 148 p.

8. Comisión, F. D., & Electricidad, C. F. (S.F.). *Normas de distribución – construcción – instalaciones.*
9. Checa, L. M. *Líneas de transporte de energía.* España: MarcomboBoixareu Editores. 1988. p. 78.
10. CNEE, C. N. *Normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución NTDOID.* Guatemala: Guatemala. 1999. 356 p.
11. Electric, S. *Manual de soluciones eficiencia energética.* Argentina: Gas natural fenosa. 2010. 332 p.
12. Electricidad, C. F. (S.F.). *Normas de distribución – construcciones – instalaciones.*
13. Eprysmian, C. &. *Catálogo general cuerdas para líneas aéreas.* Argentina: asociados. 2008.
14. Guevara García, G. G. *Guía para la elaboración de plantillas de curvas de localización de estructuras en líneas de transmisión usando computadora personal.* Guatemala: USAC. 2005. 324 p.
15. Hernández, I. A; GÓMEZ, D. M. *Simulación de flujos de potencia.* México: México. 2010. 234 p.
16. NTDOID, C. N. *Normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución NTDOID.* Guatemala: Guatemala. 1999. 245 p.

17. León, E. U. *Evaluación técnico económica del diseño de líneas*. Guatemala: Usac. 2004. 156 p.
18. López Mateo, A. *Simulación de flujos de potencia en sistemas eléctricos de distribución*. México: McGraw-Hill. 2010. p. 89.
19. Valle Oliva, Juan Salvador. *Análisis de la confiabilidad en líneas de distribución con líneas compactas de conductor protegido con respecto a línea convencional*. Guatemala: USAC. 2013. 147 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Metodología

PREGUNTA	OBJETIVOS	VARIABLE	ACCION
Qué beneficios técnicoeconómicos se obtendrá si se utilizada un conductor más eficiente en la salida de media tensión Malacatancito, Huehuetenango.	Realizar un estudio técnico económico para la utilización del conductor más eficiente en líneas de Distribución de media tensión, minimizando pérdidas eléctricas y maximizando flujo de corriente eléctrica en los conductores, identificando los beneficios económicos que este traería.	Pérdidas, inversión presupuesto	Realizar cálculos matemáticos, realizando comparaciones entre los diferentes tipos de conductores que existen.
Qué tipo de pérdidas eléctricas se presentan en los conductores utilizados en líneas de media tensión.	Analizar las pérdidas eléctricas que se presentan en los diferentes tipos de conductores utilizados en líneas de media tensión.	Pérdidas por efecto Joule y pérdidas por efecto Corona	Analizar las pérdidas eléctricas que se presentan en las líneas de media tensión y realizar mediciones de las pérdidas de la salida de media tensión Malacatancito Huehuetenango.
Cuáles son las ventajas y desventajas de los conductores eficientes.	Identificar las ventajas y desventajas que se podrían presentar en los diferentes tipos de conductores que se utilizan en las líneas de media tensión.	Pérdidas e inversión	Realizar cálculos para identificar las ventajas y desventajas que se podrían presentar y los diferentes tipos de conductores que se utilizan en las líneas de media tensión.
Cómo aumentar el flujo de corriente eléctrica en los conductores eléctricos de media tensión.	Identificar el conductor eléctrico que presenta la mejor conductividad y la menor resistencia al flujo de corriente eléctrica.	Resistencia eléctrica.	Realizar cálculos de las pérdidas eléctricas en los diferentes tipos de conductores.
Qué relación de pérdidas eléctricas existen entre los conductores actuales y los nuevos conductores.	Comparar las pérdidas eléctricas del conductor existente en la salida de media tensión Malacatancito contra las pérdidas evaluadas en los conductores más eficientes.	Pérdidas eléctricas	Realizar análisis comparativo de las pérdidas eléctricas.
Qué tiempo de recuperación se tardará.	Calcular el tiempo de recuperación de la inversión inicial	Inversión y tiempo	Realizar cálculos del tiempo de recuperación de la inversión inicial.

Fuente: elaboración propia.