



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO PARA REDUCIR LAS  
INTERRUPCIONES DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO CONDUCTORES  
ECOLÓGICOS EN LA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN**

**Jimmy Alexander Girón Cabrera**

Asesorado por M.A. Ing. Byron Ibán Azurdia Martínez

Guatemala, octubre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO PARA REDUCIR LAS  
INTERRUPCIONES DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO CONDUCTORES  
ECOLÓGICOS EN LA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JIMMY ALEXANDER GIRÓN CABRERA**

ASESORADO POR EL M.A. ING. BYRON IBÁN AZURDIA MARTÍNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, OCTUBRE 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. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **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 DEL ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO PARA REDUCIR LAS  
INTERRUPCIONES DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO CONDUCTORES  
ECOLÓGICOS EN LA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 05 de abril de 2017.

**Jimmy Alexander Girón Cabrera**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

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



ADSE-MEAPP-011-2017

Guatemala, 05 de abril de 2017.

Director  
Otto Fernando Andrino González  
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 **Jimmy Alexander Girón Cabrera** carné número **200815529**, 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,

*"Id y Enseñad a Todos"*

**BYRON I. AZURDIA MARTINEZ**  
INGENIERO ELECTRICISTA  
Colegiado 3,087

M.A. Ing. Byron I. Azurdia Martínez  
Asesor (a)  
  
Comisión Nacional de Energía Eléctrica  
GERENTE DE REGULACIÓN DE CALIDAD

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

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



Cc: archivo  
/la

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 224.2017.  
12 DE SEPTIEMBRE 2017.

Ingeniero  
Murphy Olympo Paiz Recinos  
Director Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Estimado Ingeniero Paiz:

Por este medio informo a usted respecto al expediente del estudiante de Ingeniería Mecánica Eléctrica, JIMMY ALEXANDER GIRÓN CABRERA, con carné No. 200815529, quien presenta el proyecto de Pre-Postgrado, de la Maestría en Energía y Ambiente cuyo título es: **Diseño de Investigación Análisis técnico-económico para reducir las interrupciones del servicio de energía eléctrica utilizando conductores ecológicos en la red eléctrica de distribución.** Luego de haber revisado el contenido y desarrollo acordamos emitir un dictamen favorable al protocolo del señor Girón Cabrera, previo a graduarse como Ingeniero, Mecánico Electricista y puede continuar el trámite respectivo correspondiente para la culminación de sus estudios.

Sin otro particular, atentamente,

M.B.A. Ing. Saúl Cabezas Durán  
Ingeniero Electricista  
Colegiado No. 4648

Ing. Saúl Cabezas Durán  
Coordinador Area de Potencia



Vo. Bo.

*Otto*  
Otto Fernando Andrés González  
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

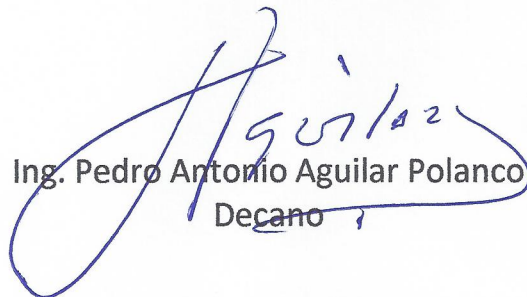


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 451.2017

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 DEL ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO PARA REDUCIR LAS INTERRUPCIONES DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO CONDUCTORES ECOLÓGICOS EN LA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Jimmy Alexander Girón Cabrera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, octubre de 2017



/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Porque sin él no estaría acá presente, es mi guía y sustento diario.
- Mis padres** Gelber Girón Figueroa (q.e.p.d.) y Mirsha Cabrera Pérez, por darme la vida, su mayor enseñanza, ser ejemplos de lucha, por su amor en todo momento; este triunfo es para ustedes, gracias hasta el cielo papá.
- Mis hermanos** Geovini, José Manuel y Candy Girón Cabrera, porque ante las adversidades y situaciones de la vida hemos salido adelante, gracias por el ejemplo y cariño.
- Mi esposa** Rosa María Santos, por su apoyo y amor incondicional en todo momento.
- Mi hija** Sara Lucía Girón Santos, que este logro sea ejemplo en su vida y así, pueda llegar más lejos.
- Mis abuelos** Manuel Girón (q.e.p.d.), Clemencia Figueroa (q.e.p.d.) y Romelia Pérez, por sus consejos y ser ejemplos de vida.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por darme el honor de ser parte de tan prestigiosa casa de estudios y ser durante la carrera otro hogar.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por la oportunidad de adquirir los conocimientos para ser un excelente profesional y haberme formado a lo largo de la carrera.
<b>Mi familia</b>	Por estar presentes en todo momento, por los consejos y apoyo hasta alcanzar esta meta.
<b>Mi asesor</b>	Por el apoyo brindado.
<b>Comisión Nacional de Energía Eléctrica</b>	Por permitirme ingresar al campo profesional, ejecutar mi carrera y darme acceso a la información.



6.1.2.2.	Elementos constructivos de una línea de distribución .....	17
6.2.	Conductores ecológicos .....	18
6.2.1.	Campo de aplicación .....	18
6.2.1.1.	Aplicación del conductor ecológico .....	19
6.2.2.	Características eléctricas del conductor ecológico .....	19
6.2.3.	Beneficios del uso de conductores ecológicos .....	20
6.2.3.1.	Ventajas .....	20
6.2.3.2.	Desventajas.....	20
7.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO .....	23
8.	METODOLOGÍA .....	27
9.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	29
10.	CRONOGRAMA .....	31
11.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	33
11.1.	Recurso humano .....	33
11.2.	Recurso tecnológico.....	33
11.3.	Recurso técnico .....	33
11.4.	Recurso tiempo .....	33
11.5.	Recurso financiero .....	34
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURA

1.	Cronograma de actividades .....	31
----	---------------------------------	----

### TABLA

I.	Recurso financiero .....	34
----	--------------------------	----



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>KMC</b>	Calibre del conductor estadounidense.
<b>km</b>	Kilómetro
<b>kV</b>	Kilovoltio
<b>MVA</b>	Megavoltio-amperio
<b>MW</b>	Megavatio
<b>V</b>	Voltio



## GLOSARIO

<b>CNEE</b>	Comisión Nacional de Energía Eléctrica
<b>Distribuidor</b>	Ente privado o estatal que se dedica a la distribución de la energía eléctrica.
<b>EEGSA</b>	Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
<b>Incidencia</b>	Interrupción del suministro de energía eléctrica.
<b>Indicador de calidad</b>	Índices normados por la CNEE para determinar la calidad del servicio técnico de un distribuidor.
<b>Índices</b>	Valores normados por la CNEE, para medir la calidad del servicio de una empresa.
<b>LGE</b>	Ley General de Electricidad.
<b>Media tensión</b>	Nivel de tensión superior a los mil voltios (1,000 V) y menor o igual a sesenta mil voltios (60,000 V).
<b>NTDOID</b>	Normas Técnicas del Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución.



<b>NTSD</b>	Normas Técnicas del Servicio de Distribución.
<b>PEISG</b>	Plan de Expansión Indicativo del Sistema de Generación.
<b>Reserva</b>	Capacidad de generación que permite mantener el equilibrio eléctrico en el sistema.

## RESUMEN

Se presenta el diseño de investigación que consiste en realizar un análisis técnico y económico del uso de conductores ecológicos en la red eléctrica de distribución para reducir las interrupciones en el servicio de energía eléctrica de Guatemala, mostrando la viabilidad y factibilidad de uso.

La implementación o utilización de los conductores ecológicos en las líneas eléctricas de distribución reducirán las interrupciones en el servicio de energía eléctrica, interrupciones que se dan por lluvias, fuertes vientos y en especial por el contacto de ramas de árboles en las líneas donde exista mucha vegetación o la falta de mantenimiento.

Además, el uso de ese tipo de conductores eléctricos en la red eléctrica de distribución trae consigo ciertos beneficios, tanto para el agente encargado de la distribución de la energía eléctrica como para el usuario que la consume, ya que con ello se tendrá un servicio continuo de calidad, sin interrupciones; al contar con un servicio de buena calidad por ende, se tendrán indicadores de calidad de servicio que no sobrepasen las tolerancias establecidas en las normas técnicas fijadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y se evitaría el pago excesivo de indemnizaciones hacia los usuarios, usuarios satisfechos por el servicio brindado y a su vez los costos de mantenimiento en las líneas eléctricas se reducirían.



## INTRODUCCIÓN

Con el presente trabajo de investigación se busca realizar el análisis técnico y económico para reducir las interrupciones del servicio de energía eléctrica, utilizando conductores ecológicos en la red eléctrica de distribución. Es un proyecto de innovación, ya que a la fecha, en Guatemala la utilización de estos conductores ha sido mínima.

La red eléctrica de distribución de Guatemala se construye básicamente con una configuración aérea; esta configuración presenta ciertos inconvenientes, ya que se muestra sensible a las perturbaciones atmosféricas y ambientales donde se tiene abundante vegetación, esto genera frecuentes interrupciones del suministro de energía eléctrica a los usuarios.

Los conductores ecológicos tienen como objetivo minimizar las fallas por interrupciones del servicio de energía eléctrica provocadas por el contacto con ramas o directamente árboles con los conductores, condiciones atmosféricas y el contacto entre conductores con el conductor de tierra o neutro, provocando así fallas asimétricas entre fases, fase a tierra y doble línea a tierra. Los conductores ecológicos a su vez contribuyen con el medio ambiente.

En el capítulo uno, se presentan conceptos sobre una red eléctrica, la conformación del servicio de energía eléctrica en Guatemala, generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía. Se describe también la red eléctrica de distribución, cómo está estructurada, qué elementos o componentes la conforman y qué elementos son utilizados para su construcción.

Se analiza la calidad del servicio, se muestran conceptos de confiabilidad, qué parámetros la definen y algunos datos históricos en el servicio de energía eléctrica. Se presentan también los índices de calidad para las interrupciones establecidos en las Normas Técnicas del Servicio de Distribución – NTSD –, las tolerancias que debe cumplir cada uno de ellos, ya que al excederlos el agente distribuidor deberá hacer pago de indemnizaciones a los usuarios afectados.

De igual manera, se hace una descripción de los conductores ecológicos, los campos o áreas donde se puede aplicar y las condiciones ambientales en las que se puede utilizar. Otros puntos que se muestran son las características eléctricas que lo conforman y los beneficios de su uso, compuestos por las ventajas y desventajas que pueda tener.

El capítulo dos es un análisis técnico, el cual se conforma por criterios para la construcción de líneas aéreas, características de las estructuras, herrajes y factores de carga. También se hace el análisis de dos tipos de conductores, los conductores convencionales y conductores ecológicos, describiendo a cada uno de ellos e indicando las propiedades eléctricas, propiedades mecánicas, propiedades térmicas y propiedades aislantes que pueden tener; herramientas y materiales utilizados para la instalación de cada uno y sus beneficios. Por último, se realiza una comparación entre ambos conductores para verificar las ventajas y desventajas de cada uno.

En el capítulo tres, se realiza un análisis económico que contiene costos de instalación de los conductores ecológicos, costos de mantenimiento, cantidad de interrupciones del servicio de energía eléctrica, para verificar el monto de indemnizaciones y obtener el ahorro en pérdidas. Finalmente, se

realiza un estudio de factibilidad económica, para la implementación de conductores ecológicos.

Al final de la investigación se encontrarán las conclusiones y recomendaciones.



## 1. ANTECEDENTES

En noviembre de 2014, el departamento de Gestión Técnica y Verificación de Instalaciones de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica elaboró el dictamen técnico identificado como DRCT-DicNTDOID-304, donde se realizó la investigación de oficio por falta de mantenimiento en líneas de Distribución, en el cual se indica que en septiembre de 2014 fueron realizados los trabajos de montaje de un nuevo sistema, la instalación de conductores ecológicos en el tramo de línea en la Comunidad Cerritos, aldea San Jerónimo, Municipio de El Tumbador, San Marcos, Guatemala; dicha instalación fue realizada por el agente distribuidor de energía eléctrica Distribuidora de Electricidad de Occidente, S.A., proyecto que se convierte en el primer tramo de red eléctrica instalado mediante la utilización de conductores ecológicos. (CNEE, 2014).

En el año 2012, se realizó la tesis de grado, donde se incluyó un análisis técnico sobre el cable ecológico, así como información de los calibres y capacidades de conducción eléctrica, tanto de cables aislados al aire (desnudos) como de cables ecológicos. También se estudió el recubrimiento que le permite a este conductor la ventaja de ser resistente al roce con los árboles. (Gaitán, 2012)

En el 2011 fue presentada la tesis de grado en la cual se realizó el estudio donde se describe y se justifica la utilización del conductor ecológico en el diseño de líneas de distribución de energía eléctrica. (Quiñonez, 2011) Como resultado, se concluyó sobre los beneficios ambientales que este tipo de conductor puede traer.



Un estudio de factibilidad utilizando conductor ecológico en la red de distribución de energía eléctrica ubicada en la colonia El Encinal, zona 7 de Mixco, Guatemala, fue realizado en la tesis de grado presentada en el 2011. (Chajón, 2011) Dicho estudio tuvo como objetivos analizar la calidad del servicio de energía eléctrica, brindado a los usuarios del lugar, analizar la ubicación de donde se instalaría el conductor ecológico, comprobar que posea las propiedades y cualidades necesarias para su uso; y evaluar si económicamente era factible dicho proyecto.

En el año 2009, se realiza un estudio para la Empresa Eléctrica de Quito en el cual se plantea como opción el uso del conductor ecológico para instalaciones aéreas de media tensión, siendo algunas de sus ventajas el aumento de la confiabilidad en el servicio de energía eléctrica, evitar electrocuciones y contribución a la conservación del medio ambiente. (Espín & Sánchez, 2009).

En el artículo presentado en IEEE por Carl C. Landinger miembro de dicha institución dio un ejemplo real del uso de conductores ecológicos; en el año 1985, la compañía Bangor Hydro instaló un sistema de cable con espaciadores en un sector de circuito de 46 KV en conexión estrella con neutro aislado. Los cables protegidos consistieron en conductores de aluminio, con blindaje semiconductor extruido. En 1996 se notó que una rama de pino estaba en contacto con una de las fases. Una cuadrilla cortó la rama. Dicha rama fue desgastada por el frotamiento y se carbonizó en 1/3 de su espesor. Las estimaciones acerca del tiempo que la rama permaneció en contacto con el conductor oscilaron desde un mínimo de 4 a un máximo de 8 años. (Landing, 1996).

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En Guatemala, al realizar la construcción de redes eléctricas de distribución se debe tomar en cuenta aspectos tanto meteorológicos como geográficos, ya que los cambios variables inciden en el daño de los dispositivos utilizados en su construcción, en especial a los conductores. Al haber daños estos ocasionan interrupciones en el servicio de energía eléctrica brindado a los usuarios conectados a la red, generan indicadores de calidad de servicio elevados. Con la falta de energía eléctrica se pondría una pausa a una gran cantidad de actividades realizadas por los seres humanos; la energía eléctrica es una necesidad básica, contar con un servicio continuo y de buena calidad brinda una mejor calidad de vida.

La utilización de conductores ecológicos en líneas de distribución evitará interrupciones en el servicio de energía eléctrica, que en la actualidad se dan por el contacto de ramas de árboles en las líneas de distribución, lluvias y vientos fuertes, esto debido a que en la red eléctrica de distribución de Guatemala son utilizados conductores convencionales (sin revestimiento).

Las interrupciones del servicio de energía eléctrica en la red de distribución en Guatemala son muy frecuentes en lugares donde se tiene una alta cantidad de árboles, ya que el contacto de una rama con las líneas de distribución produce fuga de corriente y esto conlleva a una interrupción; lo que quiere decir, un servicio deficiente, de mala calidad y generando disgustos o inconformidades a los usuarios conectados a la red.

Los conductores ecológicos pueden ser utilizados en toda la red eléctrica Guatemalteca pero específicamente en áreas donde la vegetación, fauna, lluvias y fuertes vientos se hacen presentes, al igual que en lugares donde no se respetan las distancias mínimas de seguridad entre conductores, ya que el conductor ecológico por ser un conductor protegido (revestido) es el conductor adecuado para estas situaciones.

Por medio de esta investigación se busca plantear el uso de los conductores ecológicos para reducir las interrupciones del servicio de energía eléctrica, estudiar que tan factible resulta y analizar los beneficios que puede traer al medio ambiente.

Como parte del planteamiento del problema es fundamental responder a la pregunta central de dicho problema:

- ¿Se pueden reducir las interrupciones del servicio de energía eléctrica utilizando conductores ecológicos en la red eléctrica de distribución de Guatemala?

Para responder de mejor manera la pregunta anterior, se formulan las siguientes interrogantes auxiliares:

- ¿Cómo se puede preservar el medio ambiente con la utilización de conductores ecológicos?
- ¿Qué beneficios trae la instalación de conductores ecológicos en la red eléctrica de distribución en áreas de mayor incidencia?
- ¿Es factible el uso de conductores ecológicos para reducir las interrupciones en servicio de energía eléctrica de Guatemala?

### **3. JUSTIFICACIÓN**

El tema de investigación planteado en el presente protocolo pertenece a la línea de investigación de energía, uso eficiente de la energía, por lo que cumple con el primer requisito para ser tomado en cuenta en la maestría de energía y ambiente.

La importancia de las líneas de distribución eléctrica en un país es que con ellas se lleva la electrificación a cualquier área del territorio y generaran economía y desarrollo humano.

En Guatemala se utilizan conductores convencionales, sin ningún recubrimiento, ya que son más económicos. La construcción de una red de distribución con este tipo de conductor es muy conocida en el medio guatemalteco; por otro lado, el nivel de tensión en el que operan, generan un peligro alto, tanto para personas, animales, como para la vegetación y edificaciones.

La mayor parte de áreas con una demanda alta de energía eléctrica se encuentran en el interior del país, en estas áreas la densidad de vegetación es considerable, las interrupciones que se presenta con el contacto entre una rama y la línea se dan muy frecuentemente, afectando la calidad de energía proporcionada por el distribuidor. Para reducir la cantidad de interrupciones, se ha considerado adquirir el uso de un conductor que cuente con un recubrimiento que contenga las características técnicas y mecánicas para soportar las condiciones requeridas, dicho conductor recibe el nombre de conductor ecológico, ya que ayuda a disminuir la poda de los árboles de

distintas áreas y a tener una mejor calidad del servicio de energía eléctrica, servicio sin interrupciones.

El uso de los conductores ecológicos en la red eléctrica de distribución trae consigo ciertos beneficios para el agente encargado de distribuir la energía eléctrica como para el usuario que la consume, ya que con ello se tendrá un servicio continuo de calidad, sin interrupciones; a su vez se podrá tener una menor contaminación visual y de cierta forma se contribuye con la preservación del medio ambiente porque se evitará la poda de árboles y que las aves e incluso hasta personas puedan sufrir alguna electrocución.

## **4. OBJETIVOS**

### **General**

Realizar un estudio técnico y económico del uso de conductores ecológicos en la red eléctrica de distribución para reducir las interrupciones en el servicio de energía eléctrica de Guatemala y determinar su factibilidad.

### **Específicos**

1. Analizar la importancia de la utilización de conductores ecológicos en redes de distribución, para preservar el medio ambiente.
2. Estimar los beneficios ambientales, técnicos y económicos obtenidos de la instalación de conductores ecológicos en áreas protegidas y áreas de mucha vegetación.
3. Determinar la factibilidad del uso de conductores ecológicos, para la reducción de interrupciones.



## 5. ALCANCES

En Guatemala se cuenta con una diversidad de áreas protegidas, donde no es permitida la poda de árboles y áreas donde se es muy difícil realizar el mantenimiento a las líneas de distribución, es por ello que los conductores ecológicos son los ideales para ser instalados en estas áreas, así se brindará una calidad de servicio eléctrico óptimo y sin interrupciones a los usuarios conectados a la red eléctrica. El uso de los conductores ecológicos estaría contribuyendo con el medio ambiente, ya que se evitaría la poda de árboles hasta llegar a una deforestación, protección de la flora y fauna y reducir las interrupciones del servicio.

La implementación de este tipo de conductores viene con beneficios para el agente distribuidor, ya que al poder brindar un servicio continuo, de buena calidad se tendrán indicadores de calidad de servicio dentro de las tolerancias establecidas en normas, entonces se evitaría el pago de indemnizaciones hacia los usuarios y a su vez podrá realizar un menor mantenimiento a las líneas eléctricas.

Otro beneficiado es el usuario conectado a la red que este en áreas protegidas, donde exista mucha vegetación o donde las condiciones climáticas sean de mayor intensidad en relación a otras áreas, ya que contará con un servicio de energía eléctrica de mejor calidad, continuo y sin interrupciones.

En esta investigación se estudiarán los beneficios ambientales, técnicos y económicos, para luego determinar la factibilidad del uso de los conductores



ecológicos con el sentido de que puedan ser implementados en el diseño y construcción de las redes eléctricas de distribución en Guatemala.

## **6. MARCO TEÓRICO**

### **6.1. Red eléctrica**

Una red eléctrica está compuesta por generadores eléctricos, transformadores, líneas de transmisión y líneas de distribución, que se utilizan para llevar la energía eléctrica a los usuarios. El sistema eléctrico utiliza diferentes tensiones o voltajes, alta tensión, media tensión y baja tensión. El voltaje más elevado se utiliza para distancias más largas y básicamente en las líneas de transmisión. El voltaje va disminuyendo cuando la energía eléctrica se acerca a las instalaciones del usuario final. (Chajón, 2011).

#### **6.1.1. Servicio de energía eléctrica en Guatemala**

Un sistema eléctrico de potencia incluye las etapas de generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica, y su función primordial es la de llevar esta energía desde los centros de generación hasta los centros de consumo, y por último entregarla al usuario en forma segura y con los niveles de calidad exigidos. (Castaño, 2004)

En Guatemala una red eléctrica está constituida por cuatro actividades importantes, los cuales son: generación, transporte, distribución y comercialización. La Ley General de Electricidad indica que no pueden existir empresas que realicen dos o más de estas actividades. (Ley General de Electricidad, 1996).

### **6.1.1.1. Generación**

El sistema de generación es la parte básica del sistema de potencia, ésta se encarga de entregar la energía eléctrica al sistema, a partir de la transformación de distintos tipos de energía primaria. El conjunto de unidades generadoras reciben el nombre de centrales o plantas de generación, siendo su tarea tomar una fuente primaria de energía y convertirla en energía eléctrica. El tipo de central de generación y su ubicación depende de las condiciones físicas de la fuente primaria de utilización. La selección del tipo de central de generación eléctrica se realiza por criterios técnicos y económicos, siendo estos últimos los de mayor importancia. Una central eléctrica consta de las máquinas motrices, generadores, aparatos de maniobra y protección, etc. que sirven para la producción de energía eléctrica.

Las centrales de generación son instalaciones encargadas de entregar energía al sistema, a partir de transformar alguna fuente de energía primaria (Hidráulica, Térmica, Nuclear, Eólica, Geotérmica, Solar, etc.) en energía eléctrica. (Gonzalez-Longatt, 2007).

En Guatemala, existe una expansión en la capacidad de Generación, con el plan de expansión de la generación delineado en el PEISG 2008, ha hecho un buen progreso. La meta de eliminar la generación a diésel será una realidad, a partir de 2015, y la generación con búnker también se reducirá significativamente. Los planes de expansión de la CNEE implican en su mayoría a grandes proyectos hidroeléctricos, grandes proyectos a base de carbón, e importaciones de México.

Perspectivas 2010 y muestra 769.6 MW de potencia nueva en construcción que deberán entrar en funcionamiento en el año 2013. Además,

existen otros proyectos hidroeléctricos que están actualmente en construcción y otros que han empezado a obtener los permisos y aprobaciones requeridos. (Koberle, 2012).

En Guatemala, existen varios medios utilizados para la generación de energía eléctrica como: la transformación de energía cinética por medio de hidroeléctricas, transformación de energía térmica por medio de combustibles fósiles, la cogeneración por medio de la quema del bagazo de caña de azúcar y el uso de la energía solar con parques con celdas fotovoltaicas. (Chajón, 2011).

#### **6.1.1.2. Transmisión**

Las líneas de transmisión constituyen los eslabones de conexión entre las centrales generadoras y las redes de distribución y conduce a otras redes de potencia, por medio de interconexiones. La misión del sistema de transmisión es transportar grandes bloques de energía desde los centros de generación a los puntos del sistema, interconectar las diferentes centrales y/o diferentes sistemas de potencia. (Gonzalez-Longatt, 2007).

Las líneas de transmisión son los elementos físicamente más extensos del sistema de potencia y poseen un gran número de ventajas:

- Permite producir la energía eléctrica en forma más económica
- Se logra disminuir la capacidad de reserva y reserva rodante
- Permite mejorar la contabilidad del sistema de potencia (Gonzalez-Longatt, 2007).

Las líneas de transmisión operan a niveles de voltajes elevados, esencialmente se debe al hecho que al duplicar la operación se cuadruplica la potencia que se puede transmitir. (Gonzalez-Longatt, 2007).

El sistema de transmisión está compuesto por dos sistemas:

- Sistema principal: Opera básicamente en tres niveles de voltaje, 69, 138, 230 y 400 kV. Es el sistema compartido por los generadores y las interconexiones a otros países.
- Sistema secundario: Es el medio de interconexión de un generador a la red principal. (Chajón, 2011).

El Sistema de Transmisión en Guatemala cuenta con una infraestructura que permite el abastecimiento de la energía eléctrica desde los principales centros de generación a los centros de consumo, mediante una red de aproximadamente 766 km de longitud para tensiones de 230 kV y 297 km para tensiones de 138 kV, y una capacidad de transformación en 230 kV de 1445 MVA y 319 MVA en 138 kV. (CNEE, 2010).

Para el nivel de voltaje de 69 kV son cerca de 2687 km de líneas de transmisión que permiten abastecer a los sistemas de Distribución y los Grandes Usuarios, la capacidad de transformación en 69 kV asciende a 760 MVA. (CNEE, 2010).

### **6.1.1.3. Distribución**

Las redes de distribución constan de líneas de distribución y dispositivos necesarios para distribuir la energía eléctrica hasta los usuarios, dentro de este sistema se distinguen dos grandes niveles diferenciados. (Gonzalez-Longatt, 2007).

En Guatemala, el sistema de distribución trabaja con voltajes menores a 34.5 kV. Los componentes que forman la red eléctrica de distribución son los siguientes:

- Circuito primario: Líneas eléctricas de media tensión compuestas con voltajes de 13.8 y 34.5 kV.
- Circuito secundario: Líneas eléctricas de baja tensión compuestas con voltajes de 120, 208, 240 y 480 V.
- Subestaciones de distribución: Es la instalación ubicada en un ambiente específico y protegido, compuesta por equipos tales como; seccionadores, interruptores, barras, transformadores, etc., a través de la cual la energía eléctrica se transmite con el propósito de conmutarla o modificar sus características. (NTDOID, 1999).

### **6.1.2. Red eléctrica de distribución**

La red de distribución de energía eléctrica es la parte del Sistema Eléctrico de Potencia, que tiene como función el transporte de la energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales que están conectados a dicha red. (Castaño, 2004).

La definición expuesta en la Ley General de Electricidad de Guatemala, El Sistema de Distribución es el conjunto de líneas y subestaciones de transformación de electricidad, destinadas a efectuar la actividad de distribución y que funcione a los voltajes que se especifican en el reglamento. (Ley General de Electricidad, 1996).

Un sistema de distribución con una definición más sencilla, se refiere a todos los elementos que llevan la electricidad desde las grandes fuentes de energía, a los consumidores. Los principales elementos que conforman el sistema son los conductores, por los cuales circula la electricidad; los soportes conformados por postes, herrajes y aisladores, que elevan, sujetan y aíslan los conductores. Los elementos de protección, como fusibles y seccionadores que le brindan seguridad al sistema. Los elementos de transformación que nos dan el nivel de voltaje adecuado según la necesidad del usuario. (Valle, 2013).

El sistema de distribución debe prestar a los usuarios, un servicio de energía eléctrica que cumpla con los índices o indicadores de calidad exigidos por la normativa, y la continuidad del mismo. (NTSD, 1999).

Los sistemas de distribución pueden ser clasificados de varias formas:

- Por su nivel de voltaje: distribución primaria, distribución secundaria
- Por la topología de conexión: radial, malla, red, múltiple y serie.
- De acuerdo a las cargas: residencial, pequeña de iluminación y potencia, grande de iluminación y potencia, alumbrado público.
- Por el número de conductores: bifilar, trifilar para sistemas trifásicos, y tetrafilar para sistemas trifásicos con esquema de estrella aterrizada con neutral.
- Debido al tipo de construcción: aéreas o subterráneas.
- Por la zona de servicio brindado: sistema urbano, sistema rural, sistema comercial y sistema industrial. (Ordoñez & Nieto, 2010).

### **6.1.2.1. Componentes del sistema de distribución**

El Sistema de Distribución está compuesto por varios elementos, los cuales deben ser seleccionados adecuadamente y recibir el mantenimiento correcto, para garantizar la confiabilidad del servicio. (Valle, 2013).

Una subestación es el primer elemento que se tiene en un sistema de distribución, de aquí parten los alimentadores primarios, de éstos últimos se derivan los alimentadores secundarios los cuales llegan al transformador de distribución que reduce el voltaje para que la energía sea utilizada, por el usuario conectado a la red. (Valle, 2013).

### **6.1.2.2. Elementos constructivos de una línea de distribución**

Una línea de distribución está constituida básicamente por tres elementos como: conductores, aisladores y soportes.

Es posible considerar otra serie de elementos adicionales para una línea de distribución, pero solo realizan funciones complementarias. Los conductores y aisladores poseen funciones específicas de las que se deriva una serie de características que se relacionan de modo que el análisis de uno de ellos está relacionado con otros. (Gonzalez-Longatt, 2007).

Todos los elementos constructivos de una línea de distribución deben ser elegidos, conformados y construidos de manera que tengan un comportamiento seguro en condiciones de servicio, bajo las condiciones climáticas que normalmente se esperan, bajo las tensiones de régimen, las corrientes de régimen y bajo las corrientes de corto circuito esperadas. (Valle, 2013).



## **6.2. Conductores ecológicos**

En las líneas de distribución, el conductor es el componente de mayor importancia, ya que sus características determinan el comportamiento de la línea y su geometría, por lo tanto, el estudio de sus propiedades y de esta forma su selección es lo que determinara, la mayor optimización de recursos económicos y funcionamiento de este. (Quiñonez, 2011).

Las líneas aéreas en un sistema de distribución con conductor ecológico (conductor aislado) tiene como principal objetivo reducir fallas y prevenir las interrupciones del servicio de energía eléctrica.

### **6.2.1. Campo de aplicación**

Los conductores ecológicos se usarán en las zonas con alta cantidad de árboles, donde sea muy difícil realizar poda, áreas protegidas nacionales o privadas; en sustitución de conductores desnudos y por lo tanto sean frecuentes los contactos accidentales de ramas, arbustos, aves de gran tamaño u otros animales que pudieran alterar el aislamiento y producir fallas e interrupciones en el servicio. Otros lugares donde se utilizarán son, en zonas con vientos altos y tormentas de gran intensidad. (Quiñonez, 2011).

Este tipo de conductores, también se implementará para reducir las distancias entre conductores de diferentes fases de un mismo circuito o de diferentes circuitos de distribución de la empresa incluyendo conductores conectados a tierra, según lo indicado en las Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución, de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (Artículo 18.1 inciso D), se debe emplear conductor ecológico. (NTDOID, 1999).

El conductor ecológico tiene este nombre por sus propiedades físicas, está hecho de aluminio forrado con polietileno, generalmente se le llama también ecológico, por la funcionalidad y el beneficio que presta a la conservación del medio ambiente, y se puede utilizar para construir líneas nuevas o para reconvertir líneas existentes, retirando los conductores desnudos e instalarlo sobre las mismas estructuras y aislamientos. (Quiñonez, 2011).

#### **6.2.1.1. Aplicación del conductor ecológico**

- Áreas protegidas nacionales o privadas.
- Lugares donde la vegetación sea en cantidades mayores.
- Líneas aéreas donde la humedad por lluvias tenga un alto índice.
- Lugares o calles donde no se respeten las distancias según la normativa.
- Zonas donde la poda de árboles sea de alta frecuencia.
- Áreas donde hay bastante contaminación.

#### **6.2.2. Características eléctricas del conductor ecológico**

Generalmente, los conductores a utilizar serán compactos de aluminio puro de 1/0, 4.0, 336.4 KCM, según la necesidad del proyecto, las características de éstos se encuentran en las normas EEGSA. (Quiñonez, 2011).

### **6.2.3. Beneficios del uso de conductores ecológicos**

#### **6.2.3.1. Ventajas**

Las líneas de distribución aéreas construidas con conductores ecológicos, representan una serie de beneficios tanto técnicos y operativos, como de calidad de energía y confiabilidad, los cuales son:

- Costos de mantenimiento prácticamente depreciables.
- Reducción del número de perturbaciones debidas al viento, al hielo y a las ramas de los árboles.
- Alta probabilidad de continuidad del servicio en caso de la caída de la línea físicamente a tierra, característica muy importante para comunidades lejanas y aisladas.
- Posibilidad de más de un circuito en el mismo posteo.
- Reducción drástica de la tasa de fallas en la red, con la consiguiente mejoría en la calidad de atención.
- Color gris del forro del conductor para reducir el impacto ambiental.
- Más alto nivel de seguridad del público.
- Menor contaminación del medio ambiente a través del menor número de podas a los árboles. (Gaitán, 2012)

#### **6.2.3.2. Desventajas**

La principal desventaja de la construcción de las líneas de distribución con conductores ecológicos desde el punto de vista técnico, es que los conductores por la misma razón de estar recubiertos por el aislamiento antes mencionado, su capacidad de conducción de corriente comparada con conductores desnudos del mismo calibre disminuyen, este fenómeno se debe a la

transferencia de calor entre el elemento conductor del conductor, el aislante y el ambiente exterior. (Gaitán, 2012).

Otra desventaja es el costo de instalación, ya que al utilizar en la red eléctrica de distribución conductores ecológicos se tendrá una inversión económica inicial mayor, esto en relación al uso de conductores desnudos como elemento de la red eléctrica.



## 7. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Red eléctrica

##### 1.1.1. Servicio de energía eléctrica en Guatemala

###### 1.1.1.1. Generación

###### 1.1.1.2. Transmisión

###### 1.1.1.3. Distribución

##### 1.1.2. Red eléctrica de distribución

###### 1.1.2.1. Componentes del sistema de distribución

###### 1.1.2.2. Elementos constructivos de una línea de distribución

#### 1.2. Confiabilidad del sistema de distribución

##### 1.2.1. Parámetros que define confiabilidad

##### 1.2.2. Datos históricos

#### 1.3. Índices de calidad para las interrupciones

##### 1.3.1. Frecuencia media de Interrupción por Kilovatio Amperio (FMIK)

##### 1.3.2. Tiempo Total de Interrupción por Kilovatio Amperio (TTIK)

- 1.3.3. Frecuencia de Interrupción por Usuario (FIU)
    - 1.3.4. Tiempo de Interrupción por Usuario (TIU)
    - 1.3.5. Tolerancias de las Interrupciones
    - 1.3.6. Indemnización por Interrupciones
  - 1.4. Campo de aplicación
  - 1.5. Condiciones ambientales
  - 1.6. Características eléctricas del conductor ecológico
  - 1.7. Beneficios del uso de conductores ecológicos
    - 1.7.1. Ventajas
    - 1.7.2. Desventajas
- 2. ANÁLISIS TÉCNICO
  - 2.1. Generalidades
  - 2.2. Análisis del conductor convencional
  - 2.3. Análisis del conductor ecológico
  - 2.4. Análisis de comparación de conductores
  - 2.5. Indicadores de calidad de servicio técnico 2014-2016
- 3. ANÁLISIS ECONÓMICO E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
  - 3.1. Costos de instalación
  - 3.2. Mantenimiento de la instalación
  - 3.3. Interrupciones en la red
  - 3.4. Estudio de factibilidad
    - 3.4.1. Análisis de beneficio
    - 3.4.2. Análisis de costo
    - 3.4.3. Relación beneficio – costo
  - 3.5. Presentación de resultados
  - 3.6. Discusión de resultados

CONCLUSIONES  
RECOMENDACIONES  
BIBLIOGRAFÍA  
ANEXOS





## 8. METODOLOGÍA

### **Tipo de estudio**

La presente investigación tiene como finalidad alcanzar los objetivos planteados. Tiene un enfoque analítico, ya que con ello se busca determinar los beneficios técnicos, ambientales y económicos los cuales se obtendrán con la instalación de conductores ecológicos en áreas protegidas, lugares con abundante vegetación y que puedan ser implementados en la red eléctrica de distribución de Guatemala.

La investigación tiene un estudio comparativo, debido a que se analizará la utilización de conductores convencionales y la de conductores ecológicos, verificando así la factibilidad que se tendrá al utilizar estos últimos en la red eléctrica. Las variables a emplear son cuantitativas, específicamente parámetros técnicos, costos de conductores, costos de mantenimiento e índices o indicadores de calidad de servicio técnico establecidos en las normas técnicas impuestas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Las fases de investigación serán las siguientes:

- Fase I: Investigación

Se realizará la recopilación de literatura sobre el funcionamiento, importancia, ventajas y desventajas del uso de conductores ecológicos; verificación de estudios previos realizados y obtención de datos de

interrupciones por causas originadas por condiciones climáticas y vegetación e indicadores de calidad de servicio del país durante el período de 2014 a 2016.

- Fase II: Análisis técnico

Se analizarán los datos obtenidos en la fase anterior. Asimismo, se realizará una investigación de campo para la obtención de costos de instalación, funcionamiento y mantenimiento de los conductores, contactando a proveedores, para luego desarrollar la comparación entre conductores ecológicos y conductores convencionales. Con los datos obtenidos sobre los indicadores de calidad, se evaluarán para verificar como es la calidad de servicio que están suministrando los distribuidores de energía eléctrica a los usuarios del país.

- Fase III: Análisis económico y resultados

Se realizará un estudio de factibilidad en relación a los datos recopilados, desarrollando un análisis beneficio – costo, obteniendo las ventajas y desventajas que existan con el uso de los conductores ecológicos. Se presentarán los resultados para concluir y determinar si es factible o no la utilización de dichos conductores.

## 9. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para efectuar los objetivos de esta investigación es necesario emplear métodos teóricos, estadísticos y análisis numéricos.

Para el análisis de la información cuantitativa recopilada, los parámetros técnicos e indicadores de calidad se hace uso de la estadística descriptiva donde se empleará como herramienta:

- Promedio
- Promedio ponderado
- Varianza
- Moda

La representación de los datos se hará empleando gráficos de diferentes tipos como los siguientes:

- Líneas de tiempo
- Barras
- Pie

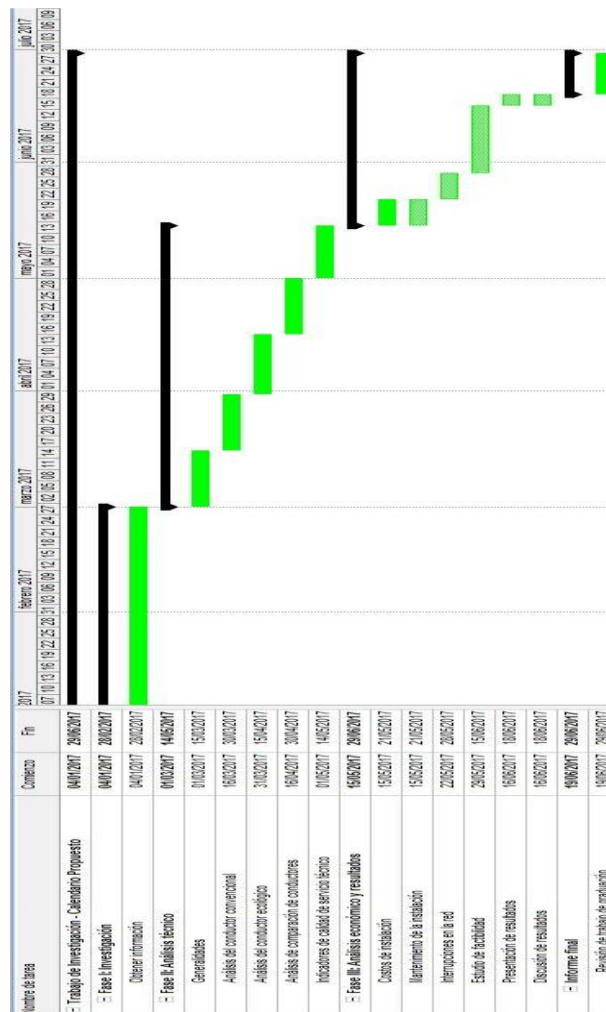
Para el estudio de factibilidad, debido a que es un análisis comparativo, se utilizará estadística inferencial, por medio de métodos y ecuaciones matemáticas de economía determinando el análisis del beneficio-costos, concluyendo si los conductores ecológicos son útiles para el diseño e implementación en las redes eléctricas.



## 10. CRONOGRAMA

Para obtener un seguimiento ordenado, se integran las siguientes actividades para desarrollarlas adecuadamente.

Figura 1. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.



## **11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

Para realizar la investigación se necesitarán los siguientes recursos:

### **11.1. Recurso humano**

- Investigador, Jimmy Alexander Girón Cabrera
- Asesor, Ing. Byron Ibán Azurdia Martínez
- Proveedores a contactar

### **11.2. Recurso tecnológico**

- Equipo de cómputo
- Correo electrónico
- Impresora
- Internet

### **11.3. Recurso técnico**

- Normas Técnicas de Servicio de Distribución – NTSD-
- Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución – NTDOID-.

### **11.4. Recurso tiempo**

- Tiempo del investigador
- Tiempo del asesor para la revisión del trabajo de investigación



### 11.5. Recurso financiero

Los recursos necesarios para la elaboración final del trabajo de investigación son los siguientes: la fuente de financiamiento es propia.

Tabla I. Recurso financiero

Descripción	Costo
Recurso humano (Asesor)	<i>Ad honorem</i>
Recurso tecnológico/insumos	Q 1,200.00
Costos de operación (Alimentación, transporte, entre otros)	Q 3,000.00
Actividades relacionadas al trabajo de graduación	Q 1,000.00
Gastos imprevistos	Q 1,500.00
<b>Total</b>	<b>Q 6,700.00</b>

Fuente: elaboración propia.

De lo anterior, se puede percibir que es un estudio factible, para determinarlo se necesita que dicha investigación sea concluida y alcanzar los objetivos propuestos.

## 12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bacca Urbina, G. (2010). *Evaluación de proyectos* . Mexico: MacGrawhill.
2. Castaño, S. R. (2004). *Redes de Distribución de Energía*. (págs. i, 2) Colombia: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia.
3. Chajón, R. D. (2011). Estudio de factibilidad para la utilización de cable aéreo protegido en la red de distribución de energía eléctrica ubicada en la Colonia El Encinal, zona 7 del Municipio de Mixco, Departamento de Guatemala. (págs. xv, 19-20, 24) Guatemala.
4. CNEE. (2010). *Perspectivas Mediano Plazo (2010-2015) para el Suministro de Electricidad del Sistema Eléctrico Nacional*. (págs. 24) Guatemala.
5. CNEE. (2014). DRCT-DicNTDOID-304 Dictamen Técnico de la Investigación de Oficio por falta de mantenimiento en línea de Distribución. (págs. 1-6) Guatemala: Departamento de Gestión Técnica y Verificación de Instalaciones.
6. Espín, V. F., & Sánchez, A. C. (2009). *Utilización de cable protegido para redes aéreas de media tensión*. (págs. xi) Quito.

7. Gaitán, Á. J. (2012). Análisis técnico de extensiones de línea de media tensión en 13.8 kV con cable AAAC ecológico y comparación económica con líneas construidas con cable ACSR aisladas en aire. (págs. xvi, 38-39) Guatemala.
8. Gonzalez-Longatt, F. (2007). Elementos de Líneas de Transmisión Aéreas. En F. Gonzalez-Longatt, *Elementos de Líneas de Transmisión Aéreas* (págs. 1-2). Caracas.
9. Gonzalez-Longatt, F. (2007). Introducción a los Sistemas de Transmisión. En F. Gonzalez-Longatt, *Introducción a los Sistemas de Transmisión* (págs. 5-6). Caracas.
10. Koberle, A. (2012). Energizar a Guatemala: propuesta de un plan de electricidad sostenible. (págs. 27-28) Guatemala: International Rivers.
11. Landinger, C. C. (1996). Sistema Hendrix de Líneas Compactas Protegidas: Contacto con Ramas. *IEEE; Hendrix Wire & Cable*, (págs. 6).
12. Ley General de Electricidad. (1996). Ley General de Electricidad Decreto No. 93-96. (págs. 6-7) Guatemala: Congreso de la República de Guatemala.
13. NTDOID. (1999). Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución. En C. N. Eléctrica. (págs. 124, 128) Guatemala: Resolución 47-99.

14. NTSD. (1999). Normas Técnicas del Servicio de Distribución. En C. N. Eléctrica. (págs. 33) Guatemala: Resolución 09-99.
15. Ordoñez, J., & Nieto, L. (2010). Mantenimiento de Sistemas Eléctricos de Distribución. (págs. 26) Guayaquil: Ordoñez, Jorge; Nieto, Leonardo;.
16. Quiñonez, P. C. (2011). Descripción y Justificación de la utilización del cable ecológico implementado en el diseño de las líneas de distribución de baja y media tensión en Guatemala. (págs. 1-3, 8, 111) Guatemala.
17. Reglamento de la LGE. (1997). *Reglamento de la Ley General de Electricidad, Acuerdo Gubernativo No. 256-97*. Guatemala: Presidente de la República de Guatemala.
18. Valle, O. J. (2013). Análisis de la confiabilidad en líneas de distribución con líneas compactas de conductor protegido respecto a una línea convencional. (págs. 1, 3, 18-19) Guatemala.

