



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA
INTRODUCCIÓN DE UNA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN COMPACTA EN EL PARQUE
ECOLÓGICO CIUDAD NUEVA, UBICADO EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Luis Miguel Lepe Díaz

Asesorado por el M.A. Ing. Luis Eduardo Hernández González

Guatemala, julio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA
INTRODUCCIÓN DE UNA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN COMPACTA EN EL PARQUE
ECOLÓGICO CIUDAD NUEVA, UBICADO EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS MIGUEL LEPE DÍAZ

ASESORADO POR EL M.A. ING. LUIS EDUARDO HERNÁNDEZ GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JULIO DE 2015

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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Fernando Alfredo Moscoso Lira
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Bayron Armando Cuyan Culajay
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA INTRODUCCIÓN DE UNA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN COMPACTA EN EL PARQUE ECOLÓGICO CIUDAD NUEVA, UBICADO EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrados, con fecha 22 de junio de 2015.



Luis Miguel Lepe Díaz



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



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

ADSE-MEAPP-007-2015

Guatemala, 22 de junio de 2015.

Director:
Guillermo Antonio Puente Romero
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 **Luis Miguel Lepe Díaz** carné número **2006-18447**, 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"

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

[Signature]
MSc. Ing. Luis Eduardo Hernández G.
Asesor (a)

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



[Signature]
MSc. Ing. Murphy Glympto Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
/la



REF. EIME 130.2015.

Guatemala, 22 de julio 2015.

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 FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA INTRODUCCIÓN DE UNA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN COMPACTA EN EL PARQUE ECOLÓGICO CIUDAD NUEVA, UBICADO EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario Luis Miguel Lepe Díaz, 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.

¡D Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
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 FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA INTRODUCCIÓN DE UNA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN COMPACTA EN EL PARQUE ECOLÓGICO CIUDAD NUEVA, UBICADO EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Miguel Lepe Díaz**, 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 Pójaro
Decano



Guatemala, 24 de julio de 2015

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por permitirme contemplar el valor de la vida y la realización de este trabajo.
- Mis padres** Luis Felipe Lepe y Aura Díaz, por ser mi inspiración y motivación para alcanzar mis anhelos. Gracias viejos.
- Mis hermanos** Alejandro y Ana Lucía Lepe Díaz, por su cariño y amor incondicional.
- Mis amigos** Mario García, Rudy Franco, José Hernández, Flor de María y Rocío Navas, por sus consejos y su amistad sincera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que me abrió las puertas y permitir mi formación profesional.
Facultad de Ingeniería	Por llenarme de conocimiento y enseñanzas que perdurarán por siempre en mi vida.
Mis compañeros de la Facultad	Daniel Solís, Christian Serrano, Héctor Alvizures, Randolpho Sontay, Rudy García y Bryan Villela, por su amistad y experiencias vividas durante la carrera.
Mi asesor	Luis Hernández, por su apoyo y colaboración en la elaboración de este trabajo.
Mis compañeros de estudio	Ingenieros Julio Barrios, Luis Sierra, Rafael Mejía y Miguel López, por su apoyo y amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
RESUMEN.....	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	13
6. ALCANCE	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Red de distribución eléctrica.....	17
7.2. Media tensión eléctrica	19
7.3. Redes aéreas de distribución convencionales.....	20
7.3.1. Ventajas de las redes aéreas convencionales.....	22
7.3.2. Desventajas de las redes aéreas convencionales..	23
7.4. Tipos de conductores desnudos.....	26
7.4.1. Conductor ACSR	26
7.4.2. Conductor AAC.....	27
7.4.3. Conductor AAAC	28

7.5.	Líneas protegidas de media tensión	28
7.6.	Características principales del conductor ecológico.....	30
7.6.1.	Características del aislamiento.....	31
7.7.	Aplicaciones del conductor ecológico.....	33
7.8.	Redes aéreas de distribución compactas.....	35
7.8.1.	Ventajas de las redes aéreas compactas.....	37
7.9.	Accesorios poliméricos y herrajes para líneas protegidas en MT	40
7.9.1.	Espaciador polimérico	40
7.9.2.	Aislador tipo pin de perno fijo para 15 kv	41
7.9.3.	Anillo de silicona.....	43
7.9.4.	Apoyo tipo L	44
7.9.5.	Brazo antibalanceo.....	46
7.9.6.	Empalmes para cables protegidos	48
8.	ÍNDICE GENERAL.....	49
9.	METODOLOGÍA	51
9.1.	Tipo de estudio.....	51
9.2.	Descripción de las fases del estudio	51
9.2.1.	Fase 1: Revisión bibliográfica de fuentes de información.....	51
9.2.2.	Fase 2: Recopilación de datos en campo.....	52
9.2.3.	Fase 3: Estudio técnico	52
9.2.4.	Fase 4: estudio económico.....	54
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	57
11.	CRONOGRAMA	59

12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	61
13.	BIBLIOGRAFÍA	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Sistema de distribución eléctrico	19
2.	Línea trifásica aérea convencional	21
3.	Línea aérea convencional	21
4.	Instalación de herrajes y cruceros para una red aérea convencional ..	23
5.	Poda predatoria para el paso de líneas aéreas convencionales	25
6.	Conductor ACSR.....	27
7.	Conductor AAC	27
8.	Conductor AAAC.....	28
9.	Configuraciones aéreas para líneas trifásicas de cable ecológico	29
10.	Componentes del cable ecológico	30
11.	Cable ecológico, protegido y de bajo impacto ambiental	32
12.	Características técnicas para 15 kv	33
13.	Red aérea compacta con espaciador romboidal	35
14.	Red aérea compacta	37
15.	Red eléctrica compacta en contacto con ramas y árboles	38
16.	Red aérea compacta	39
17.	Árbol pequeño sobre tendido de una red compacta.....	39
18.	Espaciador polimérico para 15 kv	40
19.	Aislador tipo pin de perno fijo para 15 kv	42
20.	Anillo de silicona	43
21.	Amarre de conductores al aislador tipo pin utilizando el anillo de goma	44
22.	Soporte tipo L.....	45

23.	Carga mecánica que soporta el herraje tipo L para diferentes direcciones.....	46
24.	Brazo antibalanceo	46
25.	Montaje de espaciadores.....	47
26.	Empalme para conductor protegido	48
27.	Software para dibujo y diseño Microstation	53
28.	Formato para cuantificación de materiales	54
29.	Formato para la determinación de mano de obra	55
30.	Cálculo de VPN.....	57
31.	Cronograma.....	59
32.	Gastos	61
33.	Distribución	62

RESUMEN

Actualmente en Guatemala las redes eléctricas aéreas de distribución en media tensión, se diseñan y se construyen con forme al esquema tradicional, el cual está constituido por cables no protegidos normalmente apoyados sobre aisladores de porcelana fijados a cruceros de madera o metal. Este tipo de construcción de redes presenta bajos niveles de confiabilidad cuando es utilizado en zonas geográficas densamente arboladas ya que el simple contacto con una rama puede provocar la salida del servicio de parte de la red, lo cual requiere de la constante presencia de equipos y personal de mantenimiento para lograr el restablecimiento en el servicio de energía eléctrica.

Adicionalmente las personas ven con desconfianza una línea aérea de conductores desnudos debido al peligro y riesgo que puede causar un contacto accidental con las líneas conductoras de energía eléctrica. También las líneas no protegidas normalmente causan malestar y resistencia entre la población debido al impacto ambiental que provocan al realizar podas predatorias de los árboles. Es por ello, que el medio ambiente, la seguridad, la calidad y la confiabilidad del servicio de energía eléctrica se ven comprometidas ante la construcción de una red convencional de distribución eléctrica.

Una forma de reducir los peligros por contacto eléctrico y evitar la tala de árboles en una red de distribución, es la utilización de cables protegidos con polietileno reticulado XLPE como aislante y la construcción de redes aéreas compactas.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día el consumo de energía eléctrica es esencial para el funcionamiento de aparatos eléctricos y brindar iluminación a los lugares que lo requieran y el Parque Ecológico Ciudad Nueva no es la excepción, por lo tanto la construcción de una red eléctrica de bajo impacto ambiental es necesaria para evitar la tala y desrame de árboles que podrían provocar un daño al ecosistema y al medio ambiente del lugar. Es por ello que se hace necesario establecer la factibilidad para la introducción de energía eléctrica en los lugares requeridos dentro del Parque Ciudad Nueva utilizando un modelo de construcción compacto que permita el uso de conductor aislado y del calibre adecuado. Esto proporciona el menor impacto ambiental posible en comparación con las redes eléctricas convencionales.

Derivado de los conceptos anteriores, con el presente trabajo se busca revisar, analizar y estudiar los conceptos y criterios de construcción que deben emplearse en el diseño de una red eléctrica compacta de bajo impacto ambiental dentro de la línea de investigación “Gestión y políticas energéticas ambientales” perteneciente a la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En el capítulo 1 se hará una investigación documental y bibliográfica donde se dará a conocer la tecnología de construcción de redes eléctricas compactas y de bajo impacto ambiental poniendo en manifiesto sus ventajas y las características técnicas que hacen que la red sea una excelente opción para evitar la tala y desrame de árboles en lugares como el Parque Ciudad Nueva.

El capítulo 2 tiene como objetivo presentar los datos obtenidos en campo, posterior a la realización de recorridos que tienen como propósito hacer un reconocimiento de las áreas del parque por donde se pretende construir la red eléctrica propuesta. Durante las visitas que se realicen, se propondrá un diseño preliminar de construcción que esté en función de las necesidades de consumo de energía eléctrica del parque.

En el capítulo 3 se realizará un estudio técnico y económico. En la parte del estudio técnico se detallará la importancia del software de diseño tanto de AutoCAD o Microstation, para la realización de dibujo y planos de construcción. Se enumerarán y listarán los materiales necesarios para la construcción de la red propuesta. También se detallará la cantidad en metros de cable que serán necesarios según las necesidades del plano de construcción realizado.

En el estudio económico se presentará un análisis del presupuesto requerido para la construcción de la red propuesta y un detalle de los indicadores de rentabilidad que se han establecido para la determinación de la factibilidad de este proyecto como son el valor presente neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el análisis beneficio/costo.

2. ANTECEDENTES

A finales de la década de 1940, las empresas de distribución que prestaban el servicio de energía eléctrica en los Estados Unidos, experimentaron el comienzo de un rápido crecimiento en el número de usuarios registrados. Tal crecimiento de la demanda provocó la expansión de los sistemas de distribución, que se llevó a cabo mediante el uso de redes aéreas convencionales pero a medida que los sistemas de distribución crecieron en complejidad, la confiabilidad del servicio se tornó una preocupación mayor. La mayoría de los problemas de confiabilidad estuvieron directamente relacionados con fenómenos atmosféricos como tormentas y descargas electroatmosféricas y la expansión de los circuitos de distribución a zonas aisladas y densamente arboladas. En los Estados Unidos este rápido crecimiento de las redes de distribución en áreas donde los árboles cubrían del 60 a 80 % de las zonas de servicio sumado a la formación de hielo severa, tormentas de nieve y viento hicieron que la confiabilidad de los sistemas eléctricos fuera muy reducida. (Ayala Pérez, 2009, p. 7)

Debido a los problemas que se presentaron en la expansión de las redes eléctricas de distribución en Estados Unidos países como Brasil y Argentina presentaban complicaciones similares en la confiabilidad de sus sistemas y se hizo necesario realizar estudios para los avances en la utilización y desarrollo de redes aéreas compactas. (Ayala Pérez, 2009, p. 10)

En Brasil los primeros estudios para la utilización de redes compactas fueron realizados en 1984 y la primera inversión se llevó a cabo en el año de 1988. A partir de 1998 en algunos estados de Brasil solo se proyectan líneas

aéreas compactas para media tensión. Asimismo en México la Comisión Federal de Electricidad (CFE) comenzó a utilizar los primeros tramos de cable semiaislado para zonas arboladas desde 1997 con estructuras convencionales y a partir del 2004 ya lo hace para estructuras compactas. (Ayala Pérez, 2009, pág. 10)

Actualmente, en Guatemala, este tipo de redes compactas no es utilizada comúnmente por las empresas distribuidoras y no se lleva a cabo en parques o zonas protegidas para la introducción de energía eléctrica; únicamente se construyen de la forma convencional siendo en aire y sin forro, por lo que necesita un mayor tamaño en cuanto a su estructura de construcción y no es conveniente dentro de un parque ecológico. Al día de hoy se utiliza el conductor aislado de bajo impacto ambiental en tramos pequeños de líneas y no necesariamente utilizando el modelo de redes compactas.

Sin embargo, es importante mencionar que en Guatemala se han realizado algunos estudios e investigaciones que dan a conocer el cable aislado de bajo impacto ambiental, mejor conocido en el medio como cable “AAAC ecológico” y las técnicas de construcción de líneas de distribución de energía eléctrica para redes compactas.

Entre los estudios publicados se pueden mencionar las tesis:

- 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” (Julio Andrés Gaitán Álvarez, mayo 2012).

- “Descripción y justificación de la utilización de cable ecológico implementado en el diseño de las líneas de distribución en baja y media tensión” (Christian Antulio Quiñonez Patzan, abril 2011)

Ambos estudios pertenecen a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala donde se da a conocer esta tecnología para redes de media tensión.

Los estudios y normas emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) sirven como ayuda y orientación técnica para las empresas distribuidoras de energía eléctrica en Guatemala. Entre las normativas que agregan un aporte a esta investigación se pueden mencionar las siguientes:

- Normas Técnicas del Servicio de Distribución –NTSD- (Resolución CNEE No. 09-99).
- Normas Técnicas del Diseño y Operación de Instalaciones de Distribución –NTDOID- (Resolución CNEE núm. 47-99).

También es importante mencionar que alrededor del mundo, especialmente en Latinoamérica, existen fabricantes de cables para energía eléctrica que desarrollan esta tecnología como es el caso de las compañías Prysmian en Argentina y Procables en Colombia. Ambas compañías elaboran catálogos de ventas para la orientación y uso de los cables protegidos en redes compactas; siendo un aporte importante para la elaboración de este estudio, ya que se dan a conocer las características de los equipos y conductores utilizados, en la construcción de redes compactas de distribución.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La necesidad de investigar y proponer un diseño de construcción surge de la problemática que causa utilizar conductor convencional aislado en aire; para construir líneas de distribución eléctrica en puntos aislados, lejanos o áreas protegidas que necesitan de energía eléctrica dentro de sus instalaciones sin causar daños al medio ambiente.

En el caso del Parque Ecológico Ciudad Nueva ubicado en la zona 2 de la Ciudad de Guatemala, donde se centrará el enfoque de la investigación y el problema existente, surge al construir líneas eléctricas de distribución ya que es necesario realizar trabajos de arbolado, tala y desrame provocando un daño al medio ambiente. Debido a esta situación se hace necesario realizar este trabajo de investigación sobre los beneficios que traería utilizar una red compacta para la construcción de líneas de energía eléctrica y cómo reducir el impacto ambiental que causan los trabajos de arbolado.

Por lo tanto, la pregunta principal a formularse es: ¿Es factible la introducción de energía eléctrica para consumo utilizando conductores de bajo impacto ambiental dentro del Parque Ecológico Ciudad Nueva? Ya que los impactos ambientales causados por una red eléctrica convencional varían desde la tala y desrame de árboles hasta la incidencia de colisión de aves y vida silvestre en los tendidos eléctricos.

Para determinar la necesidad de construir una red de distribución eléctrica compacta dentro del Parque surgirán otras preguntas como:

- ¿Cuáles son los efectos que causa construir una red eléctrica de distribución convencional sobre la fauna y flora del Parque?
- ¿Es posible reducir los impactos ambientales al construir la red eléctrica compacta que se propone en este estudio? ¿Cuáles son las ventajas que ofrece una red compacta dentro del Parque Ecológico Ciudad Nueva?
- ¿Cuál será el costo de construir una red eléctrica compacta dentro del Parque Ecológico Ciudad Nueva?

Según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) considera un especial cuidado al medio ambiente (incluyendo la flora y fauna) y los proyectos de infraestructura eléctrica, no deben ser la excepción. Por lo tanto, el costo de construir una red eléctrica compacta de bajo impacto ambiental conlleva a una inversión mayor, pero con conciencia ecológica para cumplir con las acciones de cuidado requeridas.

4. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con el subtema “Formulación, gestión, seguimiento y evaluación de proyectos energéticos” perteneciente a la línea de investigación “Gestión y políticas ambientales”. El diseño de la investigación tiene como objetivo realizar un análisis de factibilidad técnica y económica para el diseño y construcción de una red eléctrica compacta de bajo impacto ambiental dentro del Parque Ecológico Ciudad Nueva.

El Parque Ecológico Ciudad Nueva es una reserva ecológica importante dentro de la ciudad de Guatemala, donde se albergan diferentes tipos y especies animales tanto locales como de origen migratorio. Ya que dentro del parque existen áreas recreativas con juegos infantiles, miradores, un proceso de deforestación y un lugar para eventos sociales donde se requiere el uso y consumo de energía eléctrica.

Al utilizar redes eléctricas con conductor convencional con aislado en aire (conductor desnudo), es necesario realizar trabajos de arbolado, en zonas donde se tiene previsto construir líneas de distribución eléctrica provocando daños al medio ambiente. Pero al utilizar redes compactas de bajo impacto ambiental es posible reducir las colisiones de tala y desrame de árboles sin afectar y causar daños a la reserva natural del Parque.

La versatilidad que ofrecen las redes compactas de bajo choque ambiental permite que sea posible la introducción de energía eléctrica, dentro del parque, que será beneficiado con energía eléctrica para consumo dentro de sus

instalaciones. Esto al contar con un diseño de construcción que favorezca también al medio ambiente protegiendo la fauna y flora del lugar.

Entre los principales beneficios que ofrece la propuesta de este proyecto se pueden mencionar los siguientes:

- Costos de mantenimiento prácticamente despreciables debido a la durabilidad de los materiales y cable utilizados en la construcción de redes compactas.
- Los trabajos de tala y desrame de árboles para la construcción de la red eléctrica, dentro del parque, se reducen considerablemente debido a las características técnicas que ofrecen las redes compactas.
- Máxima economía en el trazado de líneas ya que los cables aislados pueden ser tendidos prácticamente en contacto con superficies sólidas y seguir cualquier irregularidad en el recorrido, pasando por lugares estrechos, sinuosos o arbolados sin adoptar particulares provisiones de seguridad. (Prysmian, Prysmian Energía Cables y Sistemas de Argentina S.A., 2009, pág. 5)
- Máxima seguridad hacia las personas y vida silvestre, ya que elimina totalmente los riesgos de choques eléctricos accidentales.
- Continuidad en el servicio de energía eléctrica debido a que se reducen los riesgos entre conductores que normalmente ocasionan interrupciones en el servicio, y se solucionan los problemas de las zonas arboladas, no solo por el contacto que las ramas puedan provocar, sino también por la mayor resistencia de los conjuntos de cables a la caída de ellas o aun de

árboles. (Prysmian, Prysmian Energía Cables y Sistemas de Argentina S.A., 2009, pág. 4) Esto conlleva a una reducción drástica de la tasa de fallas a la red de la distribuidora local (EEGSA) ahorrándole los costos por atención de fallas y averías.

- Menores dimensiones y mejor aspecto dado que el conjunto de cables aislados ocupa un espacio mínimo mejorando notablemente el aspecto estético del parque en comparación con una red convencional. Esto es un aspecto importante que beneficia al entorno y ecosistema del lugar.

5. OBJETIVOS

General

Determinar la factibilidad técnica y económica para la introducción de una red eléctrica de distribución compacta y de bajo impacto ambiental dentro del Parque Ecológico Ciudad Nueva ubicada en la zona 2 de la ciudad de Guatemala.

Específico

1. Describir las ventajas y desventajas de las redes aéreas convencionales de distribución con la utilización de conductores desnudos y sus características.

Presentar y dar a conocer las características y ventajas ambientales para la construcción de redes eléctricas compactas con conductor aislado.

2. Realizar un diseño y planos de construcción para la introducción de líneas de energía eléctrica al Parque Ecológico Ciudad Nueva con la utilización de cable ecológico.
3. Determinar la factibilidad económica de llevar a cabo la introducción de una red eléctrica compacta, dentro del Parque Ecológico Ciudad Nueva.

6. ALCANCE

Los alcances de la investigación están enfocados en el Parque Ecológico Ciudad Nueva ubicado en la zona 2 de la ciudad de Guatemala. Sin embargo, algunos de los conceptos contenidos en esta investigación pueden ser aplicados a zonas boscosas, áreas protegidas, reservas naturales, áreas rurales con características similares o para diferentes sectores interesados en el tema:

- Sector estudiantil y académico con intención de abarcar el tema de redes eléctricas de distribución compactas y de bajo impacto ambiental.
- Debido a que es un tema de interés eléctrico puede aportar datos a empresas de distribución eléctrica, privadas y municipales que desean ampliar su red de distribución a lugares aislados, eléctricamente dudosos o zonas boscosas.
- Ingenieros electricistas y ambientalistas que deseen conocer los usos de las redes compactas de distribución y los aportes ecológicos que se tendrían en las diversas zonas de aplicación de esta tecnología.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Red de distribución eléctrica

También llamado Sistema de Distribución de Energía Eléctrica es la parte del sistema de suministro eléctrico cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales (medidor del cliente). Se lleva a cabo por los operadores del sistema de distribución. (Fundación Wikimedia, Inc., 2014)

Los elementos que conforman la red o sistema de distribución son los siguientes:

- Subestación de distribución: conjunto de elementos (transformadores, interruptores, seccionadores,) cuya función es reducir los niveles de alta tensión de las líneas de transmisión (o subtransmisión) hasta niveles de media tensión para su ramificación en múltiples salidas. (Fundación Wikimedia, Inc., 2014)
- Circuito primario: son las líneas eléctricas que salen desde la subestación y están protegidas exclusivamente por el recloser o restaurador automático de la misma. (Morales, 2005, p. 61)
- Circuito secundario: son las líneas que se desprenden del ramal principal y están protegidas por un elemento adicional que puede ser un corta circuito con su fusible, un restaurador de línea o seccionalizador. (Morales, 2005, p. 61)

La distribución de la energía eléctrica desde las subestaciones de transformación de la red de transporte se realiza en dos etapas:

La primera está constituida por la red de reparto o transmisión, que, partiendo de las subestaciones de transformación, emite la energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo, hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución. Las tensiones utilizadas están comprendidas entre 25 y 138 kv. Intercaladas en los anillos están las estaciones transformadoras de distribución, encargadas de reducir la tensión desde el nivel de reparto al de distribución en media tensión (Fundación Wikimedia, Inc., 2014).

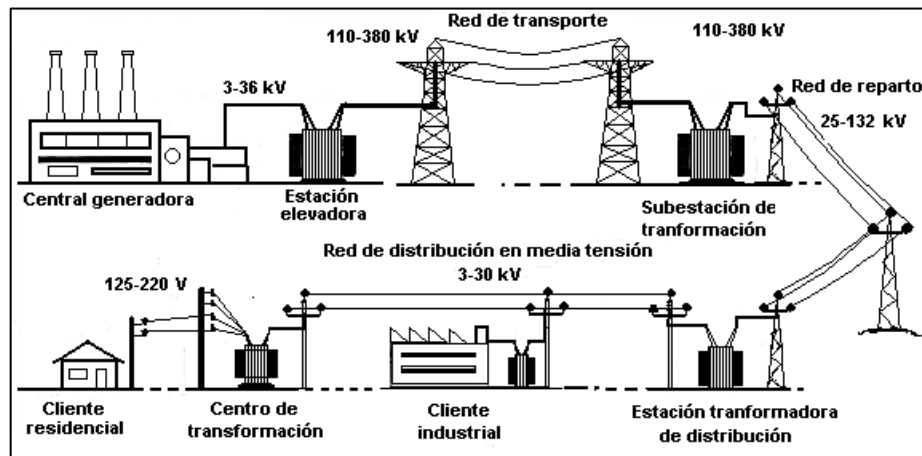
La segunda etapa la constituye la red de distribución propiamente dicha, con tensiones de funcionamiento de 3 a 30 kv y con una característica muy radial. Esta red cubre la superficie de los grandes centros de consumo (población, gran industria, etc.), uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación, que son la última etapa del suministro en media tensión, ya que las tensiones a la salida de estos centros es de baja tensión (125/220 o 220/480 V) (Fundación Wikimedia, Inc., 2014).

Las líneas que forman la red de distribución se operan de forma radial, sin que formen mallas, al contrario que las redes de transporte y de reparto. Cuando existe una avería, un dispositivo de protección situado al principio de cada red lo detecta y abre el interruptor que alimenta esta red (Fundación Wikimedia, Inc., 2014).

La localización de averías se hace por el método de prueba y error, dividiendo la red que tiene la avería en dos mitades y energizando una de ellas. A medida que se acota la zona con avería, se devuelve el suministro al resto de

la red. Esto ocasiona que en el transcurso de localización se pueden producir varias interrupciones a un mismo usuario de la red (Fundación Wikimedia, Inc., 2014).

Figura 1. **Sistema de distribución eléctrico**



Fuente: Fundación Wikimedia, Inc. *Sistema de distribución eléctrico*.

<https://wikimediafoundation.org/wiki/Portada>. Consulta: 30 de marzo de 2015.

7.2. **Media tensión eléctrica**

Es el término que se utiliza para definir a las instalaciones eléctricas mayores a 1,000 voltios. Este tipo de instalaciones son frecuentes en líneas de distribución de energía que finalizan en centros de transformación, en donde se reduce la tensión.

Según se define en el Reglamento de la Ley General de Electricidad de Guatemala (Acuerdo Gubernativo No. 68-2007) es el nivel de tensión superior a mil (1 000) voltios y menor o igual sesenta mil (60 000) voltios (Reglamento de la Ley General de Electricidad, 1997).

Las líneas de distribución en media tensión (13,8 kv), son sin duda un paso intermedio para llevar la energía eléctrica generada en las centrales eléctricas a su destino final que es el usuario. Esto mediante una serie de pasos que incluye la transformación de la energía por medio de transformadores de distribución que permiten reducir el voltaje al nivel adecuado para el consumo de los usuarios (Ayala Pérez, 2009, p. 1).

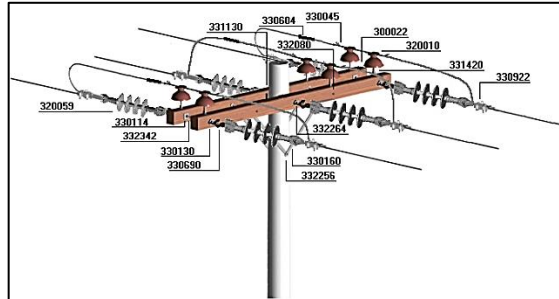
7.3. Redes aéreas de distribución convencionales

En las líneas de distribución, el cable es el componente de mayor importancia, ya que sus características determinan la geometría y el comportamiento de la línea. Por lo tanto, la cuidadosa selección de los cables, basada en el conocimiento a fondo de sus propiedades, es de máxima importancia para asegurar los mejores costos y óptimas características de operación (Gaitán Álvares, 2012, p. 23).

El esquema convencional de distribución en media tensión está constituido por conductores desnudos. Estos son normalmente apoyados sobre aisladores de vidrio o porcelana, fijados en cruceros de madera o hierro según lo determinado por el calibre del conductor y la carga que transporta.

En Guatemala en la región central, el voltaje de la red de distribución es 13,8 kv fase-fase y las líneas aéreas de distribución son el medio más popular para la conducción de energía eléctrica para países en vías de desarrollo. Por lo tanto, la continuidad y calidad del servicio eléctrico depende totalmente de la operación de este tipo de redes (Gaitán Álvares, 2012, p. 3).

Figura 2. **Línea trifásica aérea convencional**



Fuente: UBC 2 912-10, 2002.

Las redes aéreas tienen toda una gama de herrajes y conductores, los cuales están diseñados para una operación óptima, de manera que se mantenga la calidad del servicio al usuario final, también se tienen opciones para alimentar cada tipo de carga dependiendo de su magnitud y ubicación. (Gaitán Álvares, 2012, p. 3).

Figura 3. **Línea aérea convencional**



Fuente: (Ayala Pérez, 2009, pág. 1).

7.3.1. Ventajas de las redes aéreas convencionales

A continuación se listan algunas de las ventajas que poseen las redes de distribución aéreas convencionales:

- Es posible realizar grandes extensiones y adiciones a la red en tiempos muy cortos si el terreno lo permite.
- Posibilidad de realizar trabajos de construcción y mantenimiento en las líneas de media tensión sin necesidad de realizar cortes en el suministro eléctrico mejorando la eficiencia.
- Los transformadores o centros de transformación pueden ser instalados de manera arbitraria tomando como únicas variables la carga a conectar y la ubicación en la red.
- Son de fácil acceso a las fallas y con tiempos de reparación cortos.
- Permiten la instalación de redes de alumbrado público.
- Bajos costos de instalación e inversión inicial en comparación con redes subterráneas en media tensión.
- La vida útil de las líneas de distribución de 25 a 35 años dependiendo del material del que sean fabricados los postes instalados, ya sean de madera o de concreto.
- La instalación de cruceros y herrajes para la suspensión de la línea se acopla a las necesidades de diseño de las cargas a conectar.

Figura 4. **Instalación de herrajes y cruceros para una red aérea convencional**



Fuente: (COMSEGSA, S.A., 2015).

7.3.2. Desventajas de las redes aéreas convencionales

Las líneas aéreas de distribución tienen importantes desventajas, las cuales, ponen en peligro el servicio, medio ambiente y a los propios seres humanos. En algunos casos, representan ciertas situaciones de pérdidas económicas importantes. (Gaitán Álvares, 2012, p. 10).

Asimismo, las líneas desnudas normalmente encuentran resistencia entre la población debido al impacto ambiental provocado por la frecuente necesidad de podas predatorias de los árboles. Esto debido a que el simple contacto del conductor desnudo con una rama puede provocar la salida de servicio de parte de la red, exigiendo la presencia constante de equipos de mantenimiento para el restablecimiento de la energía. La proximidad de la red con marquesinas,

balcones, andamios y otras líneas de energía, entre otros, puede facilitar el contacto accidental de personas con los conductores desnudos, pudiendo causar accidentes que muchas veces son fatales (Prysmian, Cables y Systems, 2008, p. 2).

A continuación se listan algunas de las desventajas más importantes de las redes aéreas convencionales:

- Caída de tensión debido a la longitud de la línea o a la alta tasa de crecimiento de la carga conectada.
- Construcciones y obras civiles que se encuentran muy cerca de los conductores desnudos pudiendo causar accidentes y fallas en el servicio eléctrico.
- Contaminación visual.
- En zonas rurales o densamente arboladas las líneas aisladas en aire (que comprenden el 98 % de la red en Guatemala) tienen recurrentes fallas a tierra debido al roce de ramas.
- Debido a que Guatemala es un país con altos niveles de delincuencia los activos de las empresas distribuidoras son vulnerables al robo de herrajes, conductores y en algunas ocasiones hasta postes. El robo de energía (hurto de fluidos) debido a las conexiones ilegales realizadas con materiales no diseñados para ese fin también es una desventaja, ya que perjudica en los índices de pérdidas que manejan las empresas distribuidoras.
- Daño a los ecosistemas debido a la poda y desrame de árboles cuando se requiere construir líneas nuevas o adiciones a la red existente. De la misma manera se requiere de un costo de mantenimiento mayor debido a la poda y tala de árboles en líneas ya instaladas.

- Daños en los conductores y herrajes en zonas donde existe contaminación en el ambiente. Por ejemplo, en lugares costeros la salinidad es una desventaja ya que daña los equipos reduciendo la vida útil de los mismos realizando mantenimientos periódicos debidos a la corrosión.
- Interrupciones que pueden ser provocadas por maniobra o causas de fuerza mayor, como tempestades o accidentes. El costo de la energía no suministrada es una pérdida importante, ya que golpea directamente las ganancias de la distribuidora y puede significar incluso indemnizaciones para clientes y al ente regulador.

Figura 5. **Poda predatoria para el paso de líneas aéreas convencionales**



Fuente: (Prysmian, Cables y Systems, 2008).

7.4. Tipos de conductores desnudos

A continuación se presentan los diferentes tipos de conductores de desnudos.

7.4.1. Conductor ACSR

El Aluminum Conductors Steel Reinforced (ACSR) es un conductor, cableado concéntricamente, compuesto por una o más capas de alambre de aleación de aluminio cableado con un núcleo de acero de alta resistencia. El núcleo puede estar conformado por un alambre de acero simple o por varios, cableados, dependiendo del tamaño. (Sural, 2001)

Las proporciones de aleación de aluminio y acero pueden ser ajustadas para obtener la relación conductividad / fortaleza que mejor se ajuste al uso final del cable. (Sural, 2001)

El conductor ACSR es normalmente utilizado como cable aéreo desnudo para distribución eléctrica en circuitos primarios y secundarios. (Sural, 2001)

Entre las características del conductor ACSR es importante resaltar que tiene una alta resistencia a la tensión mecánica debido al núcleo de acero, tiene bajo peso y alta capacidad de conducción de corriente.

Figura 6. **Conductor ACSR**



Fuente: (Conductores del Norte, 2015).

7.4.2. **Conductor AAC**

El conductor (all aluminum conductor) está formado a partir de aluminio obtenido por refinación electrolítica con pureza mínima de 99,5 %.

Entre sus características se destaca que tiene una vida larga, resistencia mecánica, bajo peso, bajo mantenimiento. Son utilizados ampliamente en la distribución y transmisión de energía eléctrica con líneas cortas, principalmente en ciudades con tramos cortos, distribuciones rurales o alimentación industrial. (Conductores del Norte, 2015)

Figura 7. **Conductor AAC**



Fuente: (Conductores del Norte, 2015).

7.4.3. Conductor AAAC

El conductor AAAC (all aluminum alloy conductor) es un cable de aleación de aluminio cableado concéntrico que se compone de una o de varias capas de alambres de aleación de aluminio.

Fue desarrollado para atender a las necesidades de un conductor económico para aplicaciones en circuitos aéreos que requieren una resistencia mecánica mayor a la que es proporcionada por el conductor de aluminio AAC, y mayor resistencia a la corrosión, proporcionada por el cable de aluminio con alma de acero ACSR. (Conal)

Figura 8. Conductor AAAC



Fuente: (RMS, 2010).

7.5. Líneas protegidas de media tensión

Un cable cubierto también conocido como ecológico o protegido es aquel cuyo dieléctrico no tiene resistencia de aislamiento adecuada para la tensión del circuito. El cable cubierto está diseñado para niveles de tensión desde 5 kv hasta 69 kv (S.A., Procables, 2010).

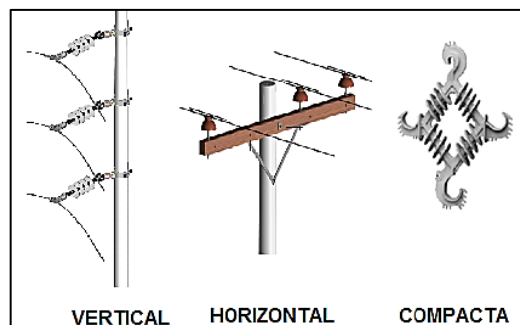
La norma ANSI/NFPA 70 NEC establece la siguiente definición:

“Cable cubierto: es un conductor metálico cubierto o con chaqueta, de un espesor no reconocido por este código como aislamiento eléctrico”. (S. A., Procables, 2010)

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 Patzan, 2011, p. 3)

Las líneas ecológicas (distribución aislada) tienen como objetivo minimizar las interrupciones de energía eléctrica debido a contactos con árboles o caída de ramas en las líneas. Una técnica para reducir las fallas es aislar las líneas primarias con polietileno reticulado XLPE e instalarlas en separadores poliméricos en posición vertical, horizontal, o formando un triángulo equilátero (esta es la instalación más recomendada). (Gaitán Álvares, 2012, p. 23)

Figura 9. **Configuraciones aéreas para líneas trifásicas de cable ecológico**

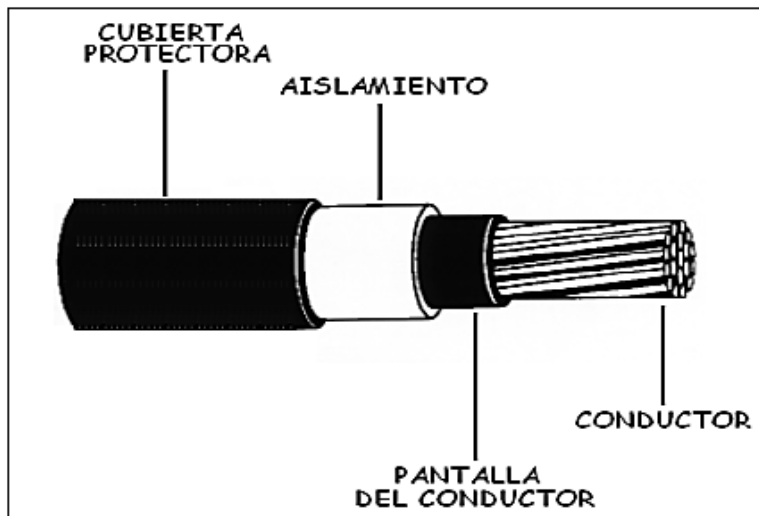


Fuente: (Gaitán Álvares, 2012).

7.6. Características principales del conductor ecológico

A continuación se muestran y se listan las partes principales que componen el cable ecológico, analizando el conductor, la pantalla del conductor, el aislamiento y la cubierta protectora externa:

Figura 10. Componentes del cable ecológico



Fuente: (Gaitán Álvares, 2012, p. 24).

Los cables ecológicos aislados de aluminio para 15 kV, para líneas aéreas de distribución de energía eléctrica en media tensión son tipo AAAC y AAC (Gaitán Álvares, 2012, p. 25).

- La capa o pantalla del conductor es una capa de compuesto semiconductor extruido sobre el conductor con el fin de evitar un gradiente eléctrico excesivo en la zona de geometría irregular del conductor y de evitar eventuales vacíos entre conductor y el aislamiento.

Para ser efectiva debe adherirse perfectamente con el aislamiento y mantener un íntimo contacto con este, bajo todas las condiciones de servicio y debe cumplir con las características de la Norma ICEA S 66-524 / S 68-516 (Gaitán Álvares, 2012, p. 25).

- El aislamiento tiene la función de proveer la rigidez dieléctrica necesaria para la operación normal del cable al nivel de tensión especificado y de un compuesto de polietileno reticulado de cadena cruzada (XLPE) al 100 %. Su espesor es variable según el nivel de tensión al cual va a operar el cable y debe cumplir con las características de la Norma ICEA S 66-524 / S 68-516 (Gaitán Álvares, 2012, p. 25).

7.6.1. Características del aislamiento

El aislamiento es un material termoplástico o termoestable, compuesto de polietileno reticulado de cadena cruzada XLPE y tiene las siguientes características:

- Tiene una temperatura normal de operación de 90 °C.
 - Puede operar por períodos cortos de tiempo durante emergencias hasta 130 °C.
 - Soporta temperaturas de cortocircuito de muy corta duración hasta 250 °C.
 - Es resistente a los rayos ultravioleta del sol.
 - Resistente a la humedad.
 - Resistente a la intemperie (Quiñonez Patzan, 2011, p. 9).
- La cubierta protectora externa está constituida por un compuesto termoplástico, aplicado sobre el aislamiento, normalmente de

policloruro de vinilo (PVC). Su función es dar protección mecánica al cable, principalmente durante los trabajos de instalación, evitar la acción negativa de productos químicos o líquidos sobre el cable y servir de asiento para la impresión de la leyenda que identifica el cable.

Figura 11. **Cable ecológico, protegido y de bajo impacto ambiental**



Fuente: (IMSA, 2015).

Características técnicas que tiene el conductor protegido para 15 kv:

Figura 12. **Características técnicas para 15 kv**

Sección Nominal	Diámetro aprox. del conductor	Diametro aprox. del cable	Masa aprox.	Carga de rotura calculaa	Resist. Eléctrica máxima a 20 °C	Intensidad de corriente a 70 °C
mm ²	mm	mm	kg/km	kgf	ohm/km	A
2 AWG	7,4	13,8	200	450	0,778	170
1/0 AWG	8	15,3	260	655	0,459	206
2/0 AWG	9,8	16,3	310	705	0,436	255
3/0 AWG	10,7	17,2	370	1 220	0,334	310
250 MCM	14,5	20,7	530	1 566	0,205	366
336,4 MCM	15,7	21,9	650	1 961	0,172	420
397,5 MCM	17,2	23,3	750	2 420	0,144	480
795 MCM	24,2	30,4	1 360	3 950	0,072	680

Fuente: (Prysmian, Cables y Systems, 2008).

7.7. **Aplicaciones del conductor ecológico**

El conductor ecológico se aplicará en las zonas arboladas donde sea dificultoso ejecutar la poda necesaria para instalar líneas con 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 y salidas del servicio. También se utilizará en zonas con elevados vientos y tormentas donde se produzcan salidas de servicio originadas en elementos que caen sobre las líneas.

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 inciso 1).

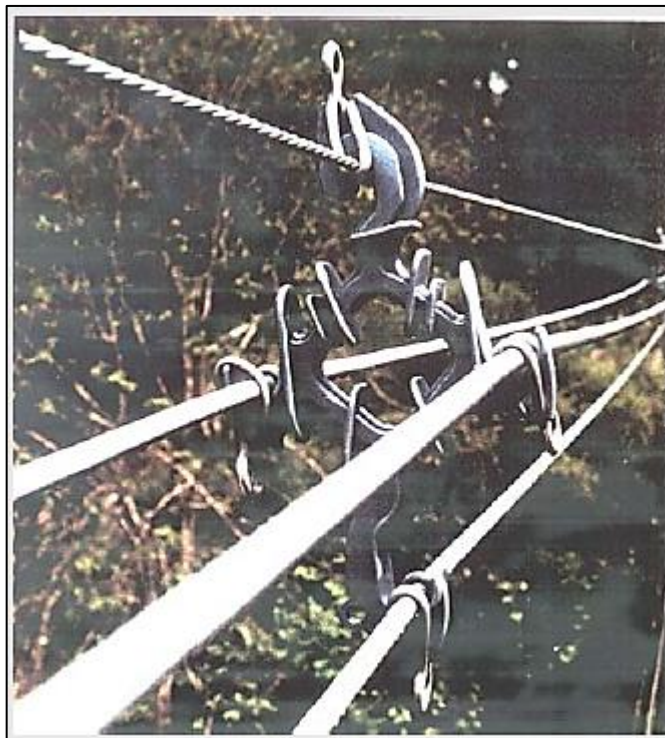
- La principal aplicación del conductor cubierto es para líneas de distribución y de transmisión, especialmente en lugares donde las condiciones atmosféricas pueden producir corrosión.
- Es el conductor ideal para tramos medios y largos en líneas primarias urbanas.
- Se utiliza en líneas de subtransmisión cuando la economía de la estructura de soporte es favorable.
- Parques nacionales o áreas protegidas como es el caso del Parque Ecológico Ciudad Nueva, ubicado en la zona 2 de la ciudad de Guatemala.
- En lugares en donde abundan los árboles con ramas secas.
- Zonas con gran incursión de aves y vida silvestre.
- Calles estrechas.
- Zonas en donde es necesario podar árboles con bastante frecuencia.
- Lugares de alta contaminación.
- Líneas de distribución cerca del mar.

7.8. Redes aéreas de distribución compactas

Una red compacta es una construcción de redes que consiste en el ensamble de cables cubiertos separados entre sí por medio de espaciadores aislantes soportados por un cable mensajero (S.A., Procables, 2010, p. 4).

En los sistemas de redes compactas se utilizan cables protegidos, amarrados y separados con espaciadores romboidales sustentados por el cable mensajero. Estos materiales están disponibles en el mercado para tensiones nominales de 15, 25, 35 y 46 Kv (Ayala Pérez, 2009, p. 11).

Figura 13. **Red aérea compacta con espaciador romboidal**



Fuente: (Prysmian, Cables y Systems, 2008).

Para subestaciones rurales, el sistema de red compacta es el ideal para salir con los circuitos sin necesidad de cable subterráneo o postes congestionados con redes convencionales (desnudas). Igualmente, en lugares donde el sistema subterráneo no aplica por costos o porque la instalación en el terreno no es posible para construir canalizaciones, es más adecuado utilizar el sistema de red aérea compacta (S. A., Procables, 2010, p. 4).

La cubierta de los cables reduce el flujo de corriente microamperios o miliamperios en el caso que existan puentes de contacto entre fases o entre fases y neutro que sean producidos por hielo, ramas de árboles, basura o cualquier otro agente externo que tenga contacto con lo ellos (Ayala Pérez, 2009, p. 11).

Prácticamente no existe límite para la resistencia mecánica del cable importante utilizado para soportar el sistema, haciendo posible la construcción de vanos largos para el cruce de ríos, arroyos, terrenos desnivelados o bajo líneas de alta tensión sin la necesidad de agregar más postes manteniendo siempre constante la distancia entre fases. En la mayoría de las situaciones, la única limitación resulta impuesta por la resistencia mecánica de las estructuras (postes y apoyos). (Ayala Pérez, 2009, p. 12)

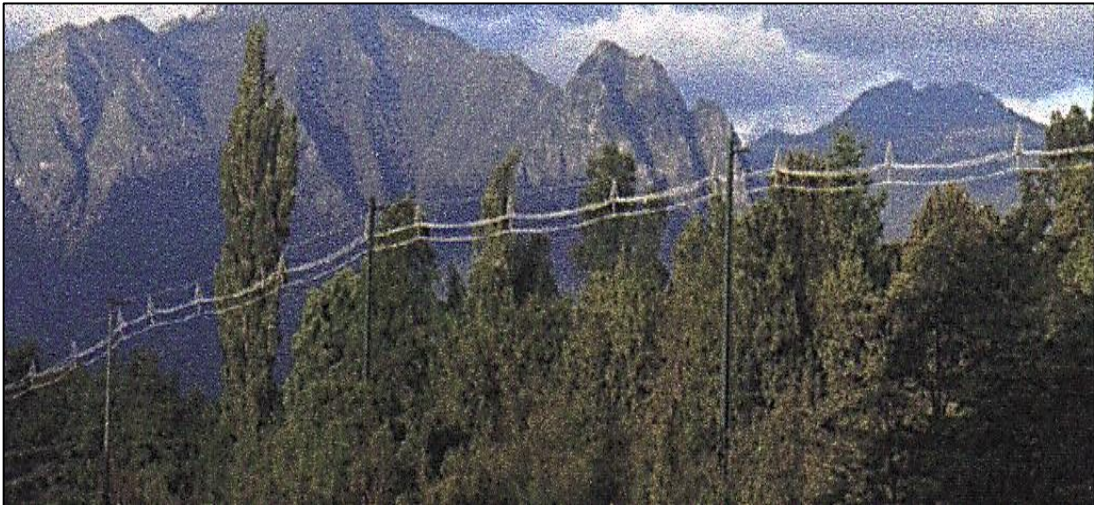
Contrario al método convencional, este difiere totalmente en cuestiones de diseño y presupuesto a las redes aéreas de distribución con cable desnudo. Por lo tanto, significa toda una nueva forma de distribuir energía eléctrica en áreas donde la vegetación es tan densa y comprende longitudes considerablemente largas entre el centro de consumo y el punto de distribución. (Gaitán Álvares, 2012, p. 35)

7.8.1. Ventajas de las redes aéreas compactas

A continuación se enumeran algunas de las ventajas que tienen las redes aéreas compactas:

- Costos de mantenimiento prácticamente despreciables debido a la durabilidad de los materiales y cable utilizados en la construcción de redes compactas.
- Los trabajos de tala y desrame de árboles para la construcción de la red eléctrica se reducen considerablemente debido a las características técnicas que ofrecen las redes compactas.

Figura 14. Red aérea compacta



Fuente: (Ayala Pérez, 2009).

- Máxima economía en el trazado de líneas, ya que los cables aislados pueden ser tendidos prácticamente en contacto con superficies sólidas y seguir cualquier irregularidad en el recorrido, pasando por lugares

estrechos, sinuosos o arbolados sin adoptar particulares previsiones de seguridad (Prysmian, Prysmian Energía Cables y Sistemas de Argentina S.A., 2009, p. 5).

Figura 15. **Red eléctrica compacta en contacto con ramas y árboles**



Fuente: (Prysmian, Cables y Systems, 2008, p. 2).

- Máxima seguridad hacia las personas y vida silvestre ya que elimina totalmente los riesgos de choques eléctricos accidentales.
- Continuidad en el servicio de energía eléctrica debido a que se reducen los riesgos entre conductores que normalmente ocasionan interrupciones en el servicio, y se solucionan los problemas de las zonas arboladas, no solo por el contacto que las ramas puedan provocar sino también por la mayor resistencia de los conjuntos de cables a la caída de ellas o aun de árboles. (Prysmian, Prysmian Energía Cables y Sistemas de Argentina S.A., 2009, p. 4)

- Menores dimensiones y mejor aspecto dado que el conjunto de cables aislados ocupa un espacio mínimo mejorando notablemente el aspecto estético en comparación con una red convencional.

Figura 16. **Red aérea compacta**



Fuente: (Prysmian, Cables y Systems, 2008, p. 9).

- Alta resistencia y durabilidad ya que permiten mantener el servicio eléctrico durante condiciones adversas como caída de árboles o ramas, vientos fuertes y postes rotos.

Figura 17. **Árbol pequeño sobre tendido de una red compacta**



Fuente: (Ayala Pérez, 2009, p. 6).

7.9. Accesorios poliméricos y herrajes para líneas protegidas en MT

La construcción de redes aéreas compactas exige el empleo de accesorios especiales que eliminen las posibles descargas superficiales entre conductores de fase y conductores en contacto con tierra debido a ramas de árboles.

Entre los principales herrajes y accesorios se mencionan los siguientes:

7.9.1. Espaciador polimérico

Accesorio de forma romboidal hecho en material polimérico cuya función es la sujeción y separación de los cables protegidos a lo largo del vano, manteniendo la aislación eléctrica de la red (Ayala Pérez, 2009, p. 13). Son fuertes y robustos, pero livianos con una alta resistencia al desgaste, a la abrasión y a los rayos ultra violeta. Están diseñados para niveles de voltaje de 15, 25 y 46 kv.

Figura 18. **Espaciador polimérico para 15 kv**



Fuente: (Prysmian, Cables y Systems, 2008, p. 10).

Características principales:

- Tensión de servicio: 8.7/15 kv
- Resistencia a la intemperie
- Altísima resistencia al impacto
- Material: polietileno de alta densidad
- Color: gris
- Diámetro de cables: 9 a 32 mm
- Línea de fuga: 280 mm
- Peso: 450 gramos
- Diámetro de rosca: 25 a 35 mm
- Baja radio interferencia

7.9.2. Aislador tipo pin de perno fijo para 15 kv

Accesorio de polietileno de alta densidad cuya función es la sujeción de los conductores aislados y prácticamente tienen las mismas características constructivas de los espaciadores. (Ayala Pérez, 2009, p. 14). Debido a su diseño y forma son autolavables por efectos de la lluvia, además su comportamiento es excelente en ambientes contaminados debido a que tienen una gran línea de fuga.

Otra característica de los aisladores polietileno es que evitan el efecto corona que es una manifestación de pérdidas de energía, que involucra al campo eléctrico en la superficie de los conductores, cuando se excede la rigidez dieléctrica del aire (Gaitán Álvares, 2012, p. 44).

Figura 19. **Aislador tipo pin de perno fijo para 15 kv**



Fuente: (Prysmian, Cables y Systems, 2008, p. 11).

Características principales:

- Tensión de servicio: 8,7/15 kv
- Resistencia a la intemperie
- Altísima resistencia al impacto
- Material: polietileno de alta densidad
- Color: gris
- Diámetro de cables: 32 mm
- Línea de fuga: 415 mm
- Peso: 535 gramos
- Diámetro de rosca: 25 a 35 mm
- Escasa radio interferencia

7.9.3. Anillo de silicona

Elemento de material elastomérico (silicona) cuya función es la fijación de los cables protegidos a los espaciadores o a los aisladores (Ayala Pérez, 2009, p. 12).

Figura 20. Anillo de silicona



Fuente: (Prysmian, Cables y Systems, 2008, p. 12).

Características principales:

- Tensión de servicio: 8,7/15 kv
- Resistencia a la intemperie
- Altísima resistencia al impacto
- Material: goma silicona
- Color: gris
- Diámetro de cables: 12 a 32 mm
- Peso: 20 gramos

Figura 21. **Amarre de conductores al aislador tipo pin utilizando el anillo de goma**



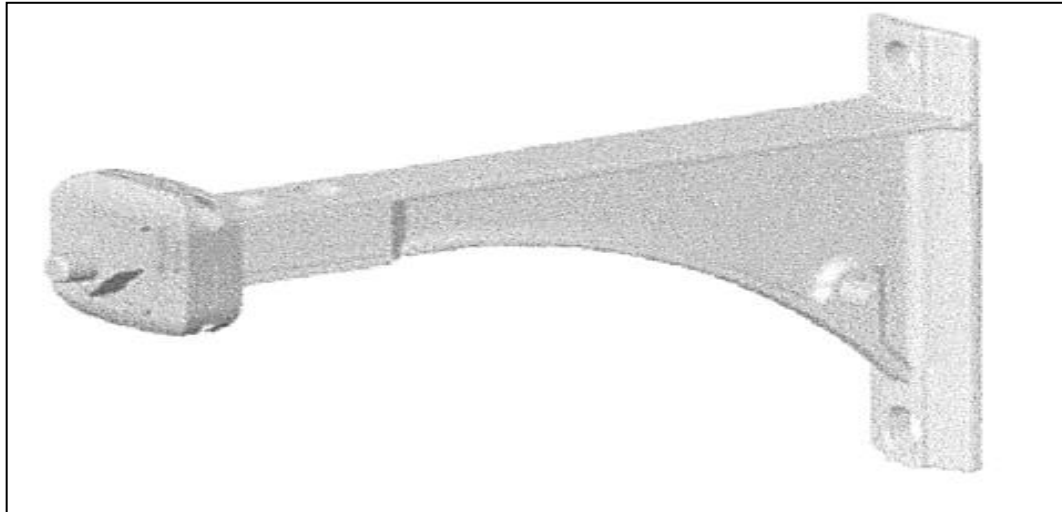
Fuente: (Gaitán Álvares, 2012, p. 44).

7.9.4. Apoyo tipo L

El brazo o apoyo tipo L está construido en fundición nodular galvanizada, consta de un cuerpo principal en forma de percha, destinado a soportar el cable de acero portante y a los espaciadores, por medio de un estribo metálico en forma de U. En su extremo cuenta con una mordaza biplaca cuya función es la de fijar el cable de acero (Ayala Pérez, 2009, p. 17).

Este soporte se atornilla de manera segura al poste, ya sea de madera o de concreto.

Figura 22. **Soporte tipo L**

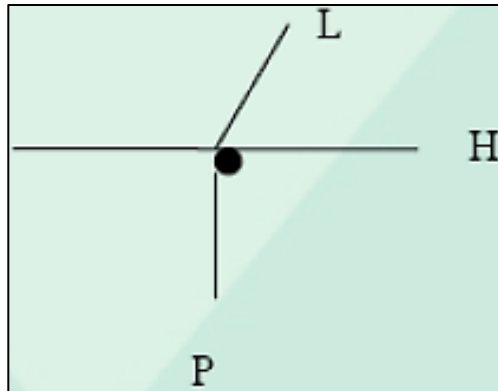


Fuente: (Prysmian, Cables y Systems, 2008, p. 13).

Características principales:

- Tensión de servicio: 15-25 kv
- Resistencia a la intemperie y a la corrosión
- Longitud: 350 mm
- Peso: 3,5 kg
- Material: acero galvanizado
- Color: gris
- Carga mecánica nominal en el extremo:
 - $P=5000\text{ N}$
 - $H=8000\text{ N}$
 - $L=1000\text{ N}$

Figura 23. **Carga mecánica que soporta el herraje tipo L para diferentes direcciones**

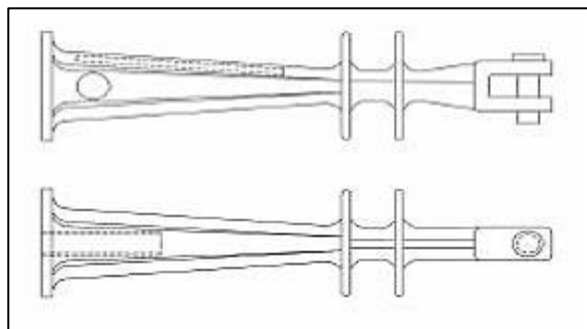


Fuente: (Ayala Pérez, 2009, pág. 18).

7.9.5. **Brazo antibalanceo**

Accesorio de material polimérico cuya función es la de reducir las vibraciones mecánicas de las redes compactas, además de realizar pequeños ángulos de suspensión (Ayala Pérez, 2009, p. 15).

Figura 24. **Brazo antibalanceo**



Fuente: (Ayala Pérez, 2009, p. 15).

Características principales:

- Tensión de servicio: 15-25 kv
- Resistencia a la intemperie
- Resistencia al impulso atmosférico
- Altísima resistencia al impacto
- Material: polietileno de alta densidad
- Color: gris
- Longitud y peso: 305 mm 0,260 kg

Figura 25. **Montaje de espaciadores**

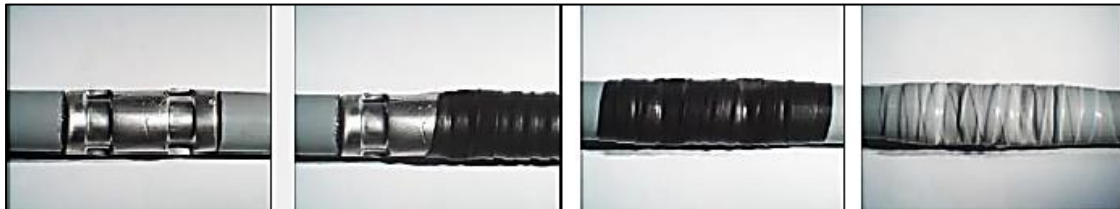


Fuente: (Prysmian, Cables y Systems, 2008, p. 13).

7.9.6. Empalmes para cables protegidos

Los conductores protegidos se empalman de igual forma que los cables aéreos tradicionales utilizando conectores prensados. Sobre los conectores y la parte expuesta del conductor se debe aplicar una capa de cinta autoamalgamante, seguida de una capa de cinta de siliconas, resistente a UV y al tracking o un elemento termo contraíble (Prysmian, Cables y Systems, 2008, p. 13).

Figura 26. Empalme para conductor protegido



Fuente: (Prysmian, Cables y Systems, 2008, p. 13).

8. ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

- 1.1. Red de distribución eléctrica
- 1.2. Media tensión eléctrica
- 1.3. Redes aéreas de distribución convencionales
 - 1.3.1. Ventajas de las redes aéreas convencionales
 - 1.3.2. Desventajas de las redes aéreas convencionales
- 1.4. Tipos de conductores desnudos
 - 1.4.1. Conductor ACSR
 - 1.4.2. Conductor AAC
 - 1.4.3. Conductor AAAC
- 1.5. Líneas protegidas de media tensión
- 1.6. Características principales del conductor ecológico
 - 1.6.1. Características de aislamiento
- 1.7. Aplicaciones del conductor ecológico
- 1.8. Redes aéreas de distribución compactas
 - 1.8.1. Ventajas de las redes aéreas compactas

1.9. Accesorios poliméricos y herrajes para líneas protegidas de media tensión.

1.9.1. Espaciador polimérico

1.9.2. Aislador tipo pin de perno fijo para 15 kv

1.9.3. Anillo de silicona

1.9.4. Apoyo tipo L

1.9.5. Brazo anti balanceo

1.9.6. Empalmes para cables protegidos

2. PRESENTACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EN CAMPO

3. REALIZACIÓN DE DISEÑO Y PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

4. ESTUDIO TÉCNICO Y DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD
ECONÓMICA

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de estudio

Es un estudio descriptivo ya que la información será recolectada y analizada sin cambiar o afectar al entorno, es decir, no hay manipulación. Por lo tanto, se trata de una investigación no experimental.

Para la realización de este estudio se utilizarán técnicas de análisis cualitativo para la elaboración de la fase 1 y 2. En cuanto a las fases 3 y 4 se realizará un análisis cuantitativo.

9.2. Descripción de las fases del estudio

A continuación se presentan las descripción de las fases del estudio de esta investigación.

9.2.1. Fase 1: Revisión bibliográfica de fuentes de información

Las fuentes bibliográficas de investigaciones consultadas serán las que se llevan a cabo en otros países que otorgarán un panorama de la problemática real y la forma de resolver la misma.

También se realizarán consultas bibliográficas a estudios realizados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Además, se consultarán catálogos de ventas e información de empresas ya consolidadas y con experiencia en la solución de la problemática planteada.

Con la consulta de fuentes bibliográficas realizada en esta fase se garantizará el cumplimiento del objetivo núm. 2 propuesto al comienzo de este estudio de investigación.

9.2.2. Fase 2: Recopilación de datos en campo

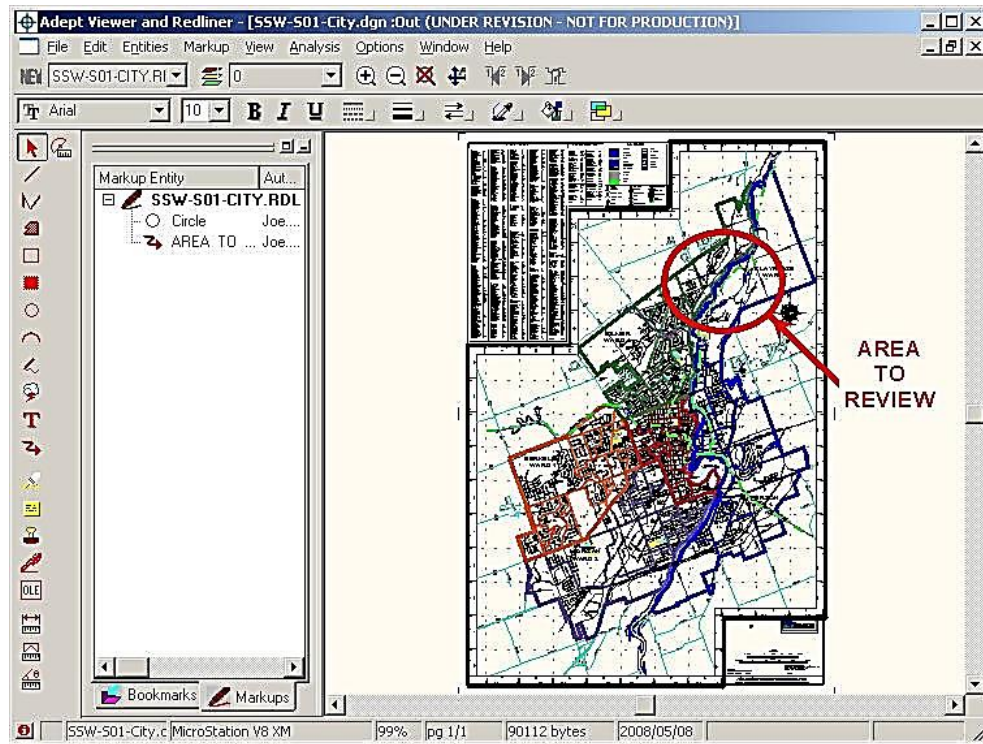
Realizar visitas de campo para hacer un reconocimiento y recorridos de las áreas del parque, por donde pasará la red eléctrica propuesta. Durante las visitas realizadas se podrá hacer un diseño preliminar de construcción que esté en función de las necesidades de consumo de energía eléctrica del parque.

Con la ayuda de herramientas métricas como es el odómetro se realizará la toma de medidas de las longitudes necesarias para la instalación de la red propuesta. Todos los datos obtenidos y apuntes tendrán soporte fotográfico.

9.2.3. Fase 3: Estudio técnico

En esta fase se hará la realización de planos y diseño con la ayuda del software Microstation. A continuación se muestra un ejemplo de realización de plano de construcción con la ayuda de esta herramienta:


Figura 27. Software para dibujo y diseño Microstation



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Project.

En esta fase también se enumerarán y listarán los materiales a utilizar, así como la cantidad en metros de cable protegido que será necesaria para cubrir las necesidades del plano de construcción realizado. Para el cálculo de materiales se utilizará el formato de distribución y presupuesto de materiales utilizado en la unidad de Construcción de líneas de Empresa Eléctrica de Guatemala S. A. (EEGSA).

Figura 28. Formato para cuantificación de materiales

 PRESUPUESTO DE DISTRIBUCION Y CUANTIFICACION DE MATERIALES							
SOLICITANTE:							
ESTUDIO:		DIRECCION:					
FECHA:		POBLACION:					
PLANO:		DEPTO.:					
CODIGO	DESCRIPCION	CLAVE	CANT.	CODIGO	DESCRIPCION	CLAVE	CANT.
30-0052	POSTE DE MADERA DE 30'	A1		33-0004	ABRAZADERA DOBLE DE 6" A 8"	M1	
30-0054	POSTE DE MADERA DE 35'	A2		33-0008	ABRAZADERA DOBLE DE 7" A 9"	M2	
30-0056	POSTE DE MADERA DE 40'	A3		33-0010	ABRAZADERA DE 4 POSICIONES	M3	
30-0084	POSTE DE CONCRETO DE 30'	A4		31-0054	Cable de cobre suave # 4 AWG	N1	
30-0086	POSTE DE CONCRETO DE 35'	A5		31-0242	Alambre de aluminio # 4 AWG P/Amarrador	N2	
30-0088	POSTE DE CONCRETO DE 40'	A6		31-0292	Cable de aluminio desnudo 336.4 kCM AAC (TULIP)	N3	
30-0090	POSTE DE CONCRETO DE 45'	A7		31-0297	Cable de aluminio desnudo 556.5 kCM AAC (MISTELTOE)	N4	
77-0232	CRUCERO SENCILLO DE MADERA DE 96" P/PM	B1		31-0306	Cable de aluminio 3 No. 1/0 UD 15 KV.	N5	
77-0234	CRUCERO SENCILLO DE MADERA DE 96" P/PC	B2		31-0342	Cable de aluminio desnudo 1/0 ACSR (RAVEN)	N6	
77-0217	CRUCERO SENCILLO DE HIERRO DE 96" P/PM	B3		31-0344	Cable de aluminio Forrado 1/0 ACSR	N7	
77-0235	CRUCERO SENCILLO DE HIERRO DE 96" P/PC	B4		31-0403	Cable de aluminio todo forrado 3 # 1/0 AAC	N8	
77-0236	CRUCERO SENCILLO DE MADERA DE 96" EN BANDERA P/PM	B5		31-0405	Cable de aluminio todo forrado 4 # 1/0 AAC	N9	
77-0238	CRUCERO SENCILLO DE MADERA DE 96" EN BANDERA P/PC	B6		31-0440	Cable para tirante de 1/4" de acero galvanizado	N10	
77-0237	CRUCERO SENCILLO DE HIERRO DE 96" EN BANDERA P/PM	B7		31-0444	Cable para tirante de 5/16" de acero galvanizado	N11	

Fuente: EEGSA.

Al concluir la realización de esta fase se obtendrán datos que serán analizados para dar respuesta a los objetivos 1 y 3 propuestos al comienzo de este estudio de investigación.

9.2.4. Fase 4: estudio económico

Se presentará un análisis de presupuesto requerido para el pago de mano de obra del proyecto, así como el costo detallado de los herrajes y accesorios que se utilizarán para la construcción de la red eléctrica propuesta. Para este detalle de costos se utilizará el formato listado de precios usado en la Unidad de construcción de líneas de EEGSA.

Figura 29. Formato para la determinación de mano de obra

LISTADO DE PRECIOS ENERGICA					
UBMO CONSTRUCCIÓN DE LINEAS					
VIGENCIA JULIO-2013					
		ENÉRGICA			
		LISTA DE PRECIOS CONSTRUCCIÓN			
		Zona 1 En Frío	Zona 1 En Caliente	Zona 2 En Frío	Zona 2 En Caliente ACTUAL
CODIGO	INSTALACIÓN				
100	INSTALACIÓN DE POSTES				
105	pino tratado hasta 10.60 m	Q901.30	Q1,465.02	Q1,193.14	Q1,939.41
110	pino tratado de 12.20 m hasta 13.72 m	Q901.30	Q1,465.02	Q1,193.14	Q1,939.41
115	concreto hasta 10.6 m, clase 750	Q785.71	Q1,308.05	Q1,040.14	Q1,731.61
120	concreto de 12.20 hasta 13.72 m, clase 750	Q1,170.51	Q1,465.48	Q1,549.54	Q1,940.02
125	concreto hasta 13.72 m, hasta clase 2000	Q1,170.51	Q1,465.48	Q1,549.54	Q1,940.02
130	concreto de 18.00 m, hasta clase 2000	Q3,745.64	Q4,682.06	Q4,958.52	Q6,198.15
135	Estructura Tipo H Vertical	Q5,852.57	Q7,315.71	Q7,747.69	Q9,684.61
200	TRASLADO DE POSTES				
205	1 a 4 postes hasta 13.72 m	Q314.67	Q0.00	Q355.56	Q0.00
210	5 a 9 postes hasta 13.72 m	Q291.14	Q0.00	Q329.54	Q0.00
215	10 a 15 postes hasta 13.72 m	Q266.36	Q0.00	Q301.05	Q0.00
220	más de 15 postes hasta de 13.72 m	Q242.82	Q0.00	Q273.79	Q0.00

Fuente: EEGSA.

En esta etapa del estudio se hará el análisis del valor presente neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) para la red propuesta y evaluar su rentabilidad conjuntamente con el análisis beneficio/costo para la red compacta dentro del Parque Ecológico Ciudad Nueva. Estos indicadores de rentabilidad serán evaluados con la ayuda de hojas electrónicas en Microsoft Excel. Los resultados de estos indicadores determinarán la factibilidad económica que se desea dar a conocer según el objetivo núm. 4 de esta investigación.

Generalmente, para este tipo de proyectos el análisis beneficio/costo es considerado desde el punto de vista que aunque sea mayor el costo de la instalación se debe cumplir con lo establecido por el Ministerio de Ambiente y

Recursos Naturales (MARN) en cuanto a la preservación y cuidados al medio ambiente, ya que las empresas distribuidoras están obligadas a prestar el servicio de energía eléctrica dentro de la franja obligatoria de 200 metros según lo indica el artículo 20 de la Ley General de Electricidad.

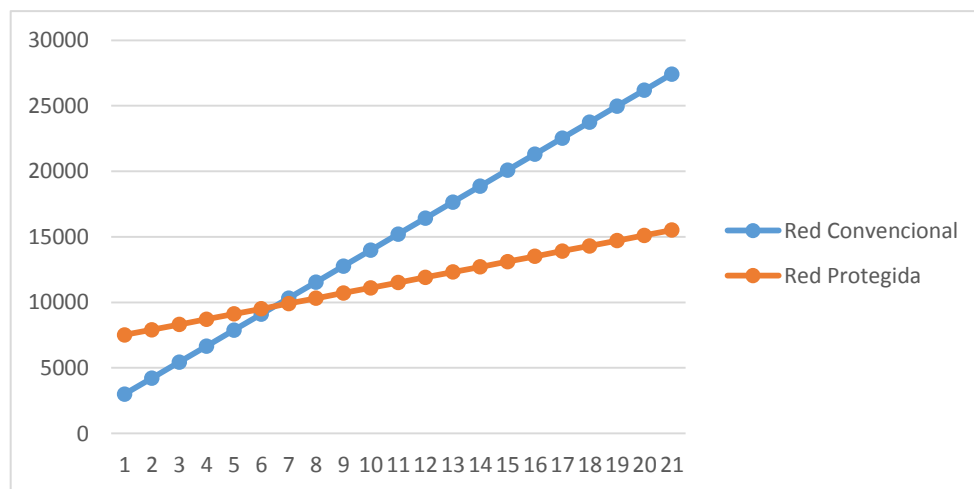
10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el desarrollo de esta investigación se llevará a cabo un análisis cuantitativo.

Al ser una propuesta de red se deberán realizar presupuestos y cálculos de materiales para una red eléctrica convencional en comparación con una red de bajo impacto ambiental. Estos deben estar respaldados por los indicadores de rentabilidad como son el valor presente neto (VAN) al escoger y al tasa interna de retorno (TIR).

A manera de ejemplo, el cálculo de VPN debe realizarse en forma numérica y gráfica como se muestra a continuación:

Figura 30. **Cálculo de VPN**



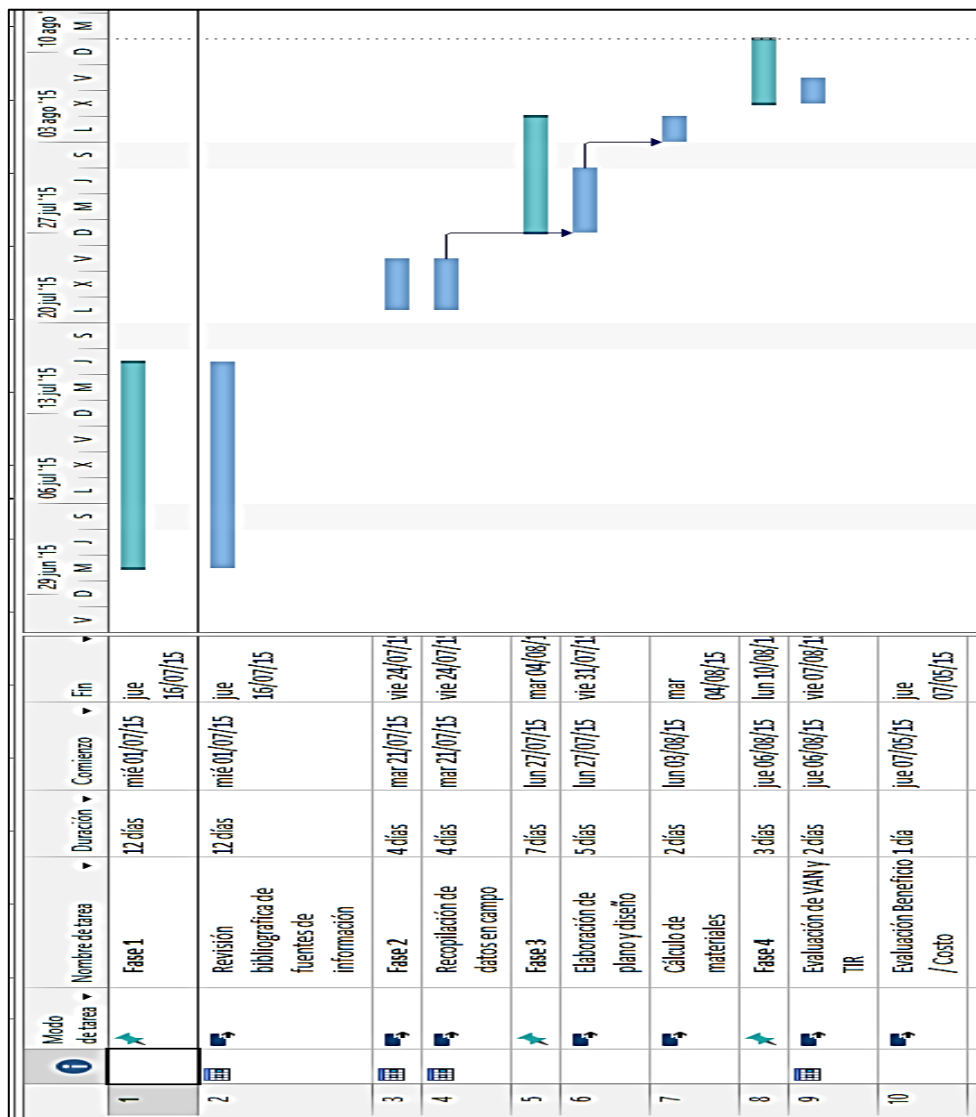
Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos de los cálculos de esta investigación en conjunto con el análisis de beneficio/costo indicarán si es factible la introducción de una red de distribución aérea del tipo compacto dentro del Parque Ecológico Ciudad Nueva en la ciudad de Guatemala.

11. CRONOGRAMA

A continuación se presenta el cronograma de las actividades planeadas para la realización de este estudio.

Figura 31. Cronograma



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para el desarrollo de este estudio es necesario saber que existirán gastos que deben ser evaluados para la realización de este trabajo, los cuales se muestran a continuación:

Figura 32. **Gastos**

Núm.	Descripción	Costo Unidad	Cantidad	Costo (quetzales)
1	Recurso Humano			
1,1	Asesor	Q 2 500,00	1	Q 2 500,00
1,2	Estudiante	Q200,00	1	Q 200,00
1,3	Otros	Q 200,00	1	Q 200,00
2	Materiales			
2,1	Cuadernos	Q 7,00	2	Q 14,00
2,2	Lapiceros	Q 5,00	4	Q 20,00
2,3	Impresiones	Q 60,00	4	Q 240,00
2,4	Impresión de planos	Q 40,00	5	Q 200,00
2,5	Otros	Q 100,00	2	Q 200,00
3	Insumos			
3,1	Energía Eléctrica	Q 200,00	1	Q 200,00
3,2	Teléfono	Q100,00	1	Q 100,00
3,3	Internet	Q100,00	1	Q 100,00
3,4	Otros	Q 100,00	1	Q 100,00
4	Transporte			
4,1	Gasolina	Q 50,00	6	Q 300,00
4,2	Depreciación de vehiculo	Q 150,00	1	Q150,00
4,3	Otros	Q 200,00	1	Q 200,00
			TOTAL	Q 4 724,00

Fuente: elaboración propia.

Para la realización de este estudio se tendrá el apoyo económico de Empresa Eléctrica de Guatemala S. A. (EEGSA) en un 50 % del valor total de la inversión que el mismo conlleva. El 50 % restante correrá por cuenta del estudiante. La distribución quedará conformada de la siguiente manera:

Figura 33. **Distribución**

Inversión	Costo
EEGSA	Q 2 362,00
Estudiante	Q 2 362,00
TOTAL	Q 4 724,00

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, la realización de este estudio se considera factible.

13. BIBLIOGRAFÍA

1. Ayala Pérez, M. (2009). Redes de distribución aereas compactas en media tensión. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México: Proyecto de tesis.
2. Cable, H. W. (2009). SISTEMA HENDRIX DE LÍNEAS COMPACTAS PROTEGIDAS. Recuperado el 10 de Abril de 2014, de http://www.redeselectricas.com.ar/news/main_hendrixrural.html
3. COMSEGSA, S.A. (Mayo de 2015). COMSEGSA. Recuperado el 2 de Mayo de 2015, de <http://www.comsegsa.net>
4. Conal. (s.f.). Promelsa. Recuperado el 2 de Mayo de 2015, de <http://www.promelsa.com.pe/pdf/02104271.pdf>
5. Conductores del Norte. (2 de Mayo de 2015). Recuperado el 22 de Febrero de 2015, de <http://www.cdeln.com/?q=producto/cable-acsr>
6. Eléctrica, C. N. (27 de Octubre de 1997). NORMAS TECNICAS DE DISEÑO Y OPERACIÓN DE LAS INSTALACIONES DE. Recuperado el 2 de Abril de 2015, de NTDOID: <http://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/1999/47-99.pdf>
7. Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (2002). UBC 2 912-10. Guatemala, Guatemala. Recuperado el 5 de Mayo de 2015

8. Fundación Wikimedia, Inc. (15 de 8 de 2014). Red de distribución de energía eléctrica. Recuperado el 16 de Enero de 2015, de http://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_distribuci%C3%B3n_de_energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica
9. Gaitán Álvarez, J. A. (2012). ANÁLISIS TÉCNICO DE EXTENSIONES DE LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN EN 13.8 KV CON. Gutemala: Facultad de Ingeniería - USAC.
10. IMSA. (2015). Línea Procompact. Recuperado el 2 de Mayo de 2015, de <http://www.imsa.com.ar/novedad.php?id=4>
11. Morales, J. F. (2005). Elementos Básicos de Protección de Sistemas de Potencia. Guatemala: Sérgrafica, S.A.
12. Pérez, M. A. (2009). Redes de distribución aéreas compactas en media tensión. Mexico.
13. Prysmian. (2008). Cables y Systems. Líneas Aéreas de Media Tensión Catálogo General, 30.
14. Prysmian. (2009). Prysmian Energía Cables y Sistemas de Argentina S.A. Buenos Aires, Argentina.
15. Quiñonez Patzan, C. A. (Abril de 2011). Descripción y Justificación del cable ecológico implementado en el diseño de las líneas de distribución de baja y media tensión de Guatemala. Guatemala, Guatemala, Guatemala: Facultad de Ingeniería - USAC.

16. Reglamento de la Ley General de Electricidad. (21 de marzo de 1997). Acuerdo Gubernativo 256-97. Recuperado el 16 de Abril de 2015, de Reglamento de la Ley General de Electricidad: http://www.amm.org.gt/portal/?page_id=23
17. RMS. (2010). Power Cable . Obtenido de Power Cable.
18. S.A., Procables. (Octubre de 2010). Cable cubierto para sistemas de distribución de red aérea. Infocables(15), 8.
19. Sural. (2001). Sural. Recuperado el 2 de Mayo de 2015, de Sural: <http://www.sural.com/productos/desnudos/acsr.htm>

