



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

**PROYECTO PARA INTRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS  
COMUNIDADES BOJORQUEZ, HORNO DE VIDES Y AGUA ZARCA DE LA ALDEA  
ATULAPA, EN LA MUNICIPALIDAD DE ESQUIPULAS, CHIQUIMULA**

**Aldo José Luis Díaz Marroquín**

Asesorado por el Ing. Marvin Leonel Chum Sánchez

Guatemala, junio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROYECTO PARA INTRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS  
COMUNIDADES BOJORQUEZ, HORNO DE VIDES Y AGUA ZARCA DE LA ALDEA  
ATULAPA, EN LA MUNICIPALIDAD DE ESQUIPULAS, CHIQUIMULA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ALDO JOSÉ LUIS DÍAZ MARROQUÍN**  
ASESORADO POR EL ING. MARVIN LEONEL CHUM SANCHEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, JUNIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**


DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
EXAMINADOR	Ing. Marvin Leonel Chum Sánchez
EXAMINADOR	Ing. Adolfo René Hernández Hernández
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:

**PROYECTO PARA INTRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS  
COMUNIDADES BOJORQUEZ, HORNO DE VIDES Y AGUA ZARCA DE LA ALDEA  
ATULAPA, EN LA MUNICIPALIDAD DE ESQUIPULAS, CHIQUIMULA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Mecánica Eléctrica, con fecha 25 de abril de 2011.



**Aldo José Luis Díaz Marroquín**

Guatemala 26-10-12

Inga. Sigrid Alitza Calderón De León  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Calderón de León:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Aldo José Luis Díaz Marroquin** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, con carné **8911925**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“PROYECTO PARA INTRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS COMUNIDADES BOJORQUEZ, HORNO DE VIDES Y AGUA ZARCA DE LA ALDEA ATULAPA, EN LA MUNICIPALIDAD DE ESQUIPULAS, CHIQUIMULA”**. El cual cumple con los objetivos planteados.

En tal virtud, solicito darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.



Ing. Marvin Leonel  
Chum Sánchez  
Colegiado 4,457

**Marvin Leonel Chum Sánchez**  
**Ingeniero Mecánico Electricista**  
**Colegiado 4,457**



Guatemala, 05 de febrero de 2013.  
Ref.EPS.DOC.453.02.13.

Inga. Sigrid Alitza Calderón de León  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Calderón de León.


Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Aldo José Luis Díaz Marroquín** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, con carné No. **8911925**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“PROYECTO PARA INTRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS COMUNIDADES BOJORQUEZ, HORNO DE VIDES Y AGUA ZARCA DE LA ALDEA ATULAPA, EN LA MUNICIPALIDAD DE ESQUIPULAS, CHIQUIMULA”**.

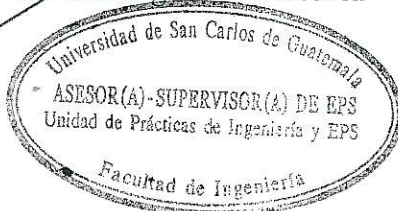
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

  
Ing. Matanael Jonathan Requena Gomez  
Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo  
NJRG/ra





Ref. EIME 23 .2013  
Guatemala, 09 de FEBRERO 2013.

Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puentes Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
"PROYECTO PARA INTRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
PARA LAS COMUNIDADES BOJORQUEZ, HORNO DE VIDES Y  
AGUA ZARCA DE LA ALDEA ATULAPA, EN LA  
MUNICIPALIDAD DE ESQUIPULAS, CHIQUIMULA", del  
estudiante Aldo José Luis Díaz Marroquín que cumple con los  
requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Francisco Javier González López  
Coordinador Área Potencia



STO



Guatemala 03 de mayo de 2013.  
Ref.EPS.D.328.05.13.

Ing. Guillermo Antonio Puentes Romero  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

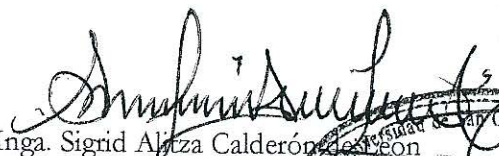
Estimado Ingeniero Puentes Romero.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"PROYECTO PARA INTRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS COMUNIDADES BOJORQUEZ, HORNO DE VIDES Y AGUA ZARCA DE LA ALDEA ATULAPA, EN LA MUNICIPALIDAD DE ESQUIPULAS, CHIQUIMULA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Aldo José Luis Díaz Marroquín**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Marvin Leonel Chum Sánchez y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

  
Inga. Sigrid Alitza Calderón León  
Directora Unidad de EPS  
DIRECCIÓN  
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS  
Facultad de Ingeniería

SACdL/ra





REF. EIME 23. 2013.

**El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; ALDO JOSÉ LUIS DÍAZ MARROQUÍN titulado: “PROYECTO PARA INTRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS COMUNIDADES BOJORQUEZ, HORNO DE VIDES, Y AGUA ZARCA DE LA ALDEA ATULAPA, EN LA MUNICIPALIDAD DE ESQUIPULAS, CHIQUIMULA”, procede a la autorización del mismo.**

  
**Ing. Guillermo Antonio Puente Romero**



**GUATEMALA, 08 DE MAYO 2013.**



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: **PROYECTO PARA INTRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS COMUNIDADES BOJORQUEZ, HORNO DE VIDES Y AGUA ZARCA DE LA ALDEA ATULAPA, EN LA MUNICIPALIDAD DE ESQUIPULAS, CHIQUIMULA**, presentado por el estudiante universitario **Aldo José Luis Díaz Marroquín**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, junio de 2013

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por su grandeza infinita y haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera.
<b>Mis padres</b>	Miriam Consuelo Marroquin de Díaz y Jorge Luis Díaz Hernández, por su amor y apoyo incondicional.
<b>Mi hermano</b>	Melvin Ronaldo Díaz Marroquín, por su incansable apoyo y cariño.
<b>Mi esposa</b>	Amanda Amapola Villagrán, por ser mi ayuda idónea y acompañarme en todo momento.
<b>Mis hijos</b>	Katherinne Mishel, Kimmberly Amapola y Aldo Javier Díaz, por llenar mi vida de alegrías y de amor cuando más lo he necesitado.
<b>Mi familia</b>	Mis abuelos, tíos, primos, mi suegra, cuñados y sobrinos por su cariño y apoyo.
<b>Mis amigos</b>	Compañeros de trabajo, compañeros de infancia y juventud, por su cariño, apoyo y amistad.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Ing. Mario Nephtalí Morales Solís</b>	Por su desinteresado apoyo y motivación para culminar mi carrera.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme los conocimientos profesionales de esta carrera.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser el centro de enseñanza que inculcó en mí la responsabilidad, el trabajo y la dedicación.

## INDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. FASE DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Aspectos geográficos del municipio.....	1
1.1.1. Localización del municipio de Esquipulas.....	1
1.1.2. Límites y colindancias.....	1
1.1.3. Clima .....	4
1.1.4. Extensión territorial del municipio de Esquipulas.....	4
1.2. Dimensión social.....	4
1.2.1. Demografía.....	5
1.2.2. Religión.....	5
1.2.3. Educación.....	5
1.3. Análisis y diagnóstico del proyecto.....	6
1.3.1. Identificación y priorización de las necesidades.....	6
1.3.2. Requerimientos de la demanda con y sin proyecto.....	7
1.3.3. Beneficios.....	7

2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL.....	9
2.1.	Métodos de diseño.....	9
2.1.1.	Sistema de distribución primaria.....	9
2.1.1.1.	Líneas monofásicas.....	9
2.1.1.2.	Usos y aplicaciones.....	9
2.1.2.	Sistema de distribución secundaria.....	10
2.1.2.1.	Estructuras.....	10
2.1.2.2.	Tipos de postes.....	10
2.1.2.3.	Conductores.....	11
2.1.2.4.	Transformadores de distribución..	12
2.1.2.5.	Retenidas.....	13
2.1.2.6.	Tierras.....	14
2.1.2.7.	Acometidas.....	17
2.1.2.8.	Cortacircuitos, pararrayos y fusibles.....	17
2.1.2.9.	Neutro.....	17
2.1.3.	Medidas de seguridad en la construcción de una red de distribución.....	18
2.1.3.1.	Profundidad de enterrado de postes y anclajes.....	18
2.1.3.2.	Selección de la trayectoria.....	19
2.1.3.3.	Distancias mínimas horizontal y vertical entre conductores.....	19
2.1.3.4.	Distancias mínimas entre conductores y estructuras.....	21
2.1.3.5.	Distancias mínimas entre conductores y nivel del suelo.....	23
2.1.3.6.	Cumplir con los requisitos del derecho de vía.....	23



	2.1.3.7.	Ubicación de las estructuras.....	25
	2.1.3.8.	Condiciones meteorológicas.....	25
2.1.4.		Tipos de estructuras.....	26
	2.1.4.1.	Tipos de construcción de estructuras de soporte.....	29
2.1.5.		Cálculos eléctricos de las líneas de distribución.....	29
	2.1.5.1.	Resistencia.....	30
	2.1.5.2.	Reactancia inductiva.....	30
	2.1.5.3.	Susceptancia.....	31
	2.1.5.4.	Intensidad máxima de corriente...	32
	2.1.5.5.	Potencia a transportar .....	32
	2.1.5.6.	Características generales del tramo de línea en estudio para la evaluación económica.....	34
	2.1.5.7.	Elementos de diseño de una línea de distribución de 13.2 kV.....	34
2.2.		Protección de redes de distribución contra sobre corrientes.....	35
	2.2.1.	Dispositivos empleados para la protección de redes que conforman el sistema de distribución primaria.....	35
	2.2.2.	Cortacircuitos y fusibles.....	36
	2.2.3.	Restaurador ( <i>recloser</i> ) de subestación.....	36
	2.2.4.	Seccionadores.....	36
	2.2.5.	Fallas permanentes y temporales.....	37
	2.2.6.	Funciones de un sistema de protección contra sobre corrientes.....	37

2.2.7.	Aspectos importantes para el diseño del sistema de protección y selección del equipo..	38
2.2.8.	Coordinación de restaurador con fusibles de distribución.....	38
2.2.9.	Cálculo de corto circuito.....	40
3.	DISEÑO DE PLANIFICACIÓN PARA LA INTRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS COMUNIDADES BOJORQUEZ, HORNO DE VIDES Y AGUA ZARCA DE LA ALDEA ATULAPA DEL MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA.....	47
3.1.	Criterios de diseño para la selección de estructuras.....	47
3.1.1.	Fuerzas mecánicas sobre las estructuras.....	49
3.1.1.1.	Fuerzas transversales.....	50
3.1.1.1.1.	Vano de viento.....	51
3.1.1.1.2.	Fuerza debida al viento en los cables	52
3.1.1.1.3.	Fuerza debida al viento en el poste...	53
3.1.1.1.4.	Fuerza debida a la deflexión de la línea	54
3.1.1.2.	Fuerzas verticales.....	55
3.1.1.2.1.	Vano de peso.....	55
3.1.1.3.	Fuerzas longitudinales.....	56
3.1.2.	Flecha y tensión mecánica del conductor.....	56
3.1.2.1.	Planteamiento de la ecuación de la flecha.....	57

	3.1.2.1.1.	Comprobación entre la catenaria y la parábola.....	61
3.2.		Principales normas aplicadas al diseño de la red.....	61
	3.2.1.	Distribución primaria.....	62
	3.2.2.	Distribución secundaria.....	63
3.3.		Levantamiento topográfico.....	65
	3.3.1.	Toma de puntos de ubicación mediante GPS	65
	3.3.2.	Diseño de mapa.....	65
3.4.		Ingeniería de la Red.....	65
	3.4.1.	Generalidades.....	66
	3.4.2.	Carga estimada.....	66
	3.4.3.	Carga proyectada a 10 años.....	69
	3.4.4.	Densidad de carga.....	70
	3.4.5.	Selección del nivel de tensión de distribución.	70
	3.4.6.	Selección de conductores.....	72
	3.4.7.	Caídas de tensión.....	77
	3.4.8.	Cálculo de protección de la red de distribución	77
3.5.		Cronograma de elaboración del proyecto.....	78
	3.5.1.	Diagrama de Gantt.....	78
3.6.		Presupuesto.....	79
	3.6.1.	Costos directos.....	79
	3.6.2.	Costos indirectos.....	79
	3.6.3.	Costos totales.....	80
4.		FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE .....	81
	4.1.	Capacitación al coordinador de la Oficina de Planificación Municipal.....	81

4.1.1.	Resultados de la elaboración de trifoliar informativo.....	82
4.1.2.	Conceptos de peligros, ventajas y desventajas sobre el uso de la energía eléctrica.....	82
	CONCLUSIONES.....	85
	RECOMENDACIONES.....	87
	BIBLIOGRAFÍA.....	89
	APÉNDICES.....	91

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ubicación del municipio de Esquipulas, Chiquimula, 2009.....	3
2.	Ancla en Bandera de Asta Simple.....	15
3.	Esquema de medición de resistencia de puesta a tierra.....	16
4.	Zonas de viento máximo por región.....	27
5.	Zonas de temperatura por región.....	28
6.	Diagrama unifilar para analizar la coordinación de restauradores y fusibles.....	38
7.	Curvas del restaurador montadas en las curvas de fusibles.....	39
8.	Diagrama unifilar y datos del ejemplo de corto circuito.....	41
9.	Mallas de secuencia para falla de línea a tierra.....	42
10.	Diagrama unifilar de línea de Quezaltepeque a Esquipulas.....	43
11.	Vista en planta de la fuerza ejercida por el viento sobre las estructuras de una línea.....	50
12.	Vanos de viento y de peso.....	51
13.	Flecha de un conductor sostenido por dos estructuras.....	57
14.	Relación entre la flecha y tensión de un conductor.....	58
15.	Representación de tensiones mecánicas en un cable conductor	60
16.	Línea derivada y subderivada.....	64
17.	Sistema monofásico de 3 hilos con tensión 120/240 voltios.....	71
18.	Sistema trifásico a 4 hilos con tensión 120/240 voltios.....	72

## TABLAS

I.	Microregionalización del municipio de Esquipulas 2008.....	2
II.	Tipos de postes de madera.....	11
III.	Códigos de Conductores ACSR.....	12
IV.	Distancia mínima horizontal entre conductores.....	20
V.	Distancia mínima de seguridad vertical entre conductores y cables de diferente estructura.....	21
VI.	Distancias mínimas de separación entre conductores y estructuras.....	22
VII.	Distancias mínimas de seguridad verticales de conductores sobre vías férreas, el suelo o agua.....	24
VIII.	Capacidad máxima de conducción de corriente en conductores ACSR.....	33
IX.	Características mecánicas y dimensionales de postes de concreto.....	48
X.	Porcentaje de error entre el cálculo de la catenaria y la parábola.....	61
XI.	Coeficiente de simultaneidad en función de usuarios.....	68
XII.	Potencia a requerir para las comunidades en estudio.....	68
XIII.	Características de conductores para baja tensión.....	73
XIV.	Selección de conductores para acometidas.....	74
XV.	Características de conductores de uso exclusivo en acometidas de abonado.....	75
XVI.	Características de conductores de uso en líneas y acometidas....	76



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Hz</b>	Hertz
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>Kv</b>	Kilovatio
<b>KVA</b>	Kilovoltamperio
<b>kW</b>	Kilowatts
<b>m</b>	Metro
<b>mm</b>	Milímetro
<b><math>\Omega</math></b>	Ohmios
<b>'</b>	Pies
<b>%</b>	Porciento
<b>“</b>	Pulgadas
<b>V</b>	Voltios



## GLOSARIO

<b>Aislador eléctrico</b>	Pieza de material aislante, como vidrio, porcelana, etc., que se utiliza como soporte de un conductor eléctrico, en las líneas de transmisión y distribución.
<b>ANSI</b>	Siglas en inglés del Instituto Nacional Americano de Estándares (American National Standards Institute).
<b>Arco eléctrico</b>	Es la descarga eléctrica que se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial, colocados a baja presión o al aire libre.
<b>Aterrizado o puesta a tierra</b>	Conectado o en contacto con la tierra, o conectado a alguna extensión de un cuerpo conductor que sirve en lugar de la tierra.
<b>Baja tensión</b>	Nivel de tensión menor o igual a mil (1000) voltios.
<b>Circuito eléctrico</b>	Es un conjunto de elementos que unidos de forma adecuada permiten el paso de electrones.

<b>Coordenadas UTM</b>	Es un sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator, que se construye como la proyección de Mercator normal, pero en vez de hacerla tangente al Ecuador, se la hace tangente a un meridiano. Las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros.
<b>Corto circuito</b>	Es un fallo en una línea eléctrica por el cual la corriente eléctrica pasa directamente del conductor activo o fase al neutro o tierra en sistemas monofásicos de corriente alterna, entre dos fases o igual al caso anterior para sistemas polifásicos, o entre polos opuestos en el caso de corriente continua.
<b>Frecuencia eléctrica</b>	Es el número de ciclos de una señal eléctrica alterna que ocurre durante un segundo, la unidad para medir estos ciclos es el Hertz (Hz). Para el caso de Guatemala, la frecuencia nominal es de 60 Hz.
<b>Fusibles</b>	Son dispositivos de protección eléctrica de una red que hacen las veces de un interruptor, siendo más baratos que éstos. Se instala en un punto determinado para que se funda, cuando la intensidad de corriente supere, por un corto circuito o un exceso de carga, un determinado valor que pudiera hacer peligrar la integridad de los conductores de la instalación.

<b>Línea de distribución</b>	Son las últimas existentes antes de llegar la electricidad al usuario, y reciben ese nombre por tratarse de las que distribuyen la electricidad al último eslabón de la cadena.
<b>Línea de transmisión</b>	Son las que interconectan las centrales generadoras y las líneas de distribución, adicionalmente conduce a otras redes de potencia por medio de interconexiones.
<b>Media tensión</b>	Nivel de tensión mayor a mil (1,000) pero menor a sesenta mil (60,000) voltios.
<b>Seccionador de cuchillas</b>	Dispositivo que sirve para conectar y desconectar diversas partes de una instalación eléctrica, para efectuar maniobras de operación o para dar mantenimiento
<b>Tensión</b>	Es el diferencial de potencial eléctrico entre dos puntos, pueden ser dos conductores o entre un conductor y tierra.
<b>Vano</b>	Es la separación que debe existir entre los diferentes apoyos del tendido de una línea de trasmisión en alta y media tensión, existen el vano del diseño, el vano real (que lo determina las condiciones del terreno) y el vano de regulación, los vanos deben tener la misma tensión mecánica en todos los tramos.





## RESUMEN

El presente trabajo de graduación tiene como finalidad resolver la necesidad de llevar energía eléctrica a las poblaciones Bojorquez, Horno de Videz y Agua Zarca, de la aldea Atulapa del municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula.

El primer capítulo contiene la información social y demográfica del municipio, así como la identificación de prioridades necesarias de dichas comunidades, en las que se determinan las demandas reales y los beneficios que este proyecto brindará a los interesados. En el capítulo dos se presentan los métodos de diseño de una red de distribución eléctrica radial, bajo las normas de construcción establecidas por la empresa Energuate, quien es el ente responsable de la distribución eléctrica en esta región del país. Los usuarios de estas comunidades deberán cumplir con los requisitos establecidos por dicha empresa para poder solicitar su acometida eléctrica domiciliar.

En el tercer capítulo se desarrollaron los cálculos para el diseño de la red, el levantamiento topográfico con la utilización de tecnología de geoposicionamiento satelital (GPS), lo que permite una mejor panorámica de la trayectoria de la línea de distribución. Se incluyen el presupuesto, planos del proyecto, cronograma de ejecución físico y económico, renglones de trabajo y el listado de los materiales a utilizar.

Y para finalizar, en el capítulo cuatro se presenta la fase de enseñanza aprendizaje a la oficina de planificación municipal.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar los estudios necesarios para el diseño de ampliación de red de distribución, para brindar energía eléctrica a las comunidades Bojorquez, Horno de Videz y Agua Zarca de la aldea Atulapa, municipio de Esquipulas, del departamento de Chiquimula.

### **Específicos**

1. Desarrollar una investigación monográfica y diagnóstica del proyecto.
2. Realizar el levantado de ubicación de estructuras eléctricas utilizando GPS.
3. Establecer la demanda real de usuarios sin acceso de energía eléctrica, para determinar la cobertura necesaria que permita satisfacer a los pobladores de estas comunidades.
4. Elaborar el diseño de la red de distribución eléctrica y los planos correspondientes.
5. Cuantificar y detallar el valor de la inversión necesaria, para la ejecución del proyecto para la introducción de energía eléctrica para las comunidades a beneficiar.

6. Promover el desarrollo por medio de la interconexión eléctrica.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el municipio de Esquipulas cuenta con una subestación con suficiente capacidad para soportar la ampliación de la red de distribución requerida para dar cobertura a las comunidades Bojorquez, Horno de Vides y Agua Zarca. Este proyecto ayudará a que estas comunidades obtengan importantes beneficios sociales, derivados del uso de la energía eléctrica, tales como: alumbrado público, bombeo de agua, posibilidades de entretenimiento, información audiovisual, creación de alguna clínica médica o dental con equipo especial o hasta un centro de salud. Esto sin lugar a dudas es el principio del desarrollo de cualquier comunidad, obviamente debe ir acompañado de condiciones de infraestructura adecuada tales como vías de acceso y transporte.

La Municipalidad de Esquipulas velando por el desarrollo y crecimiento de su población, solicitó a la Facultad de Ingeniería realizar los estudios profesionales para la introducción de este vital servicio a las comunidades en mención, dándole la categoría a este proyecto de necesario e importante.

La Unidad de Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), tiene como objetivo principal, promover en el estudiante universitario proyectar conciencia social y esto lo concreta involucrándolo en este tipo de proyectos, en los que se pone en práctica los conocimientos adquiridos en su formación académica, sirviéndole de trabajo de graduación y contribuye con la comunidad.

Considerando que el servicio eléctrico es motor del desarrollo en cualquier comunidad, se ha declarado este proyecto con carácter de urgente

para que se realicen los estudios pertinentes. En este trabajo de graduación se determina una carga proyectada a 10 años, tal como lo establece el normativo de Energuate, ya que se realiza en comunidades en vías de crecimiento y desarrollo, haciendo a la vez un balance entre la carga instalada y la demanda que los usuarios requieran, optimizando el funcionamiento de la red.

En este estudio se desarrollan el diseño de la red de distribución eléctrica, la ubicación geográfica de cada comunidad, usuarios y estructura, así como el tipo de construcción y los diseños de conexión de los bancos de transformadores, todos plasmados en los planos de red.

Como parte medular del estudio, se determina el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del mismo. Este proyecto será financiado por la Municipalidad de Esquipulas quien busca el beneficio de los usuarios únicamente y no algún tipo de utilidad.



# **1. FASE DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Aspectos geográficos del municipio**

El municipio de Esquipulas cuenta en la actualidad con 1 ciudad, 20 aldeas y 8 caseríos, distribuidos en los 532km<sup>2</sup>. El casco urbano está dividido en 9 barrios, 13 colonias, 9 residenciales y 2 lotificaciones comerciales distribuidas en 5 zonas.

El área rural se encuentra distribuida en 12 micro regiones, ver tabla I. Las comunidades Bojorquez, Horno de Vides y Agua Zarca, pertenecen a la aldea Atula, la cual forma parte de la Región IV de la microregionalización del municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula, tal como se indica en la tabla I.

### **1.1.1. Localización del municipio de Esquipulas**

El municipio de Esquipulas se encuentra localizado en el oriente del departamento de Chiquimula, República de Guatemala y es colindante con la República de Honduras, se encuentra localizado entre las coordenadas 16 P 246610 y 1611338 con una elevación aproximada de 1,143 msnm y comprende un área de 532km<sup>2</sup>. Se ubica a 222 kilómetros de la ciudad de Guatemala.

### **1.1.2. Límites y colindancias**

Colinda al norte con los municipios de Camotán, Jocotán y Olopa, al oeste con el municipio de Quezaltepeque, al sur con el municipio de

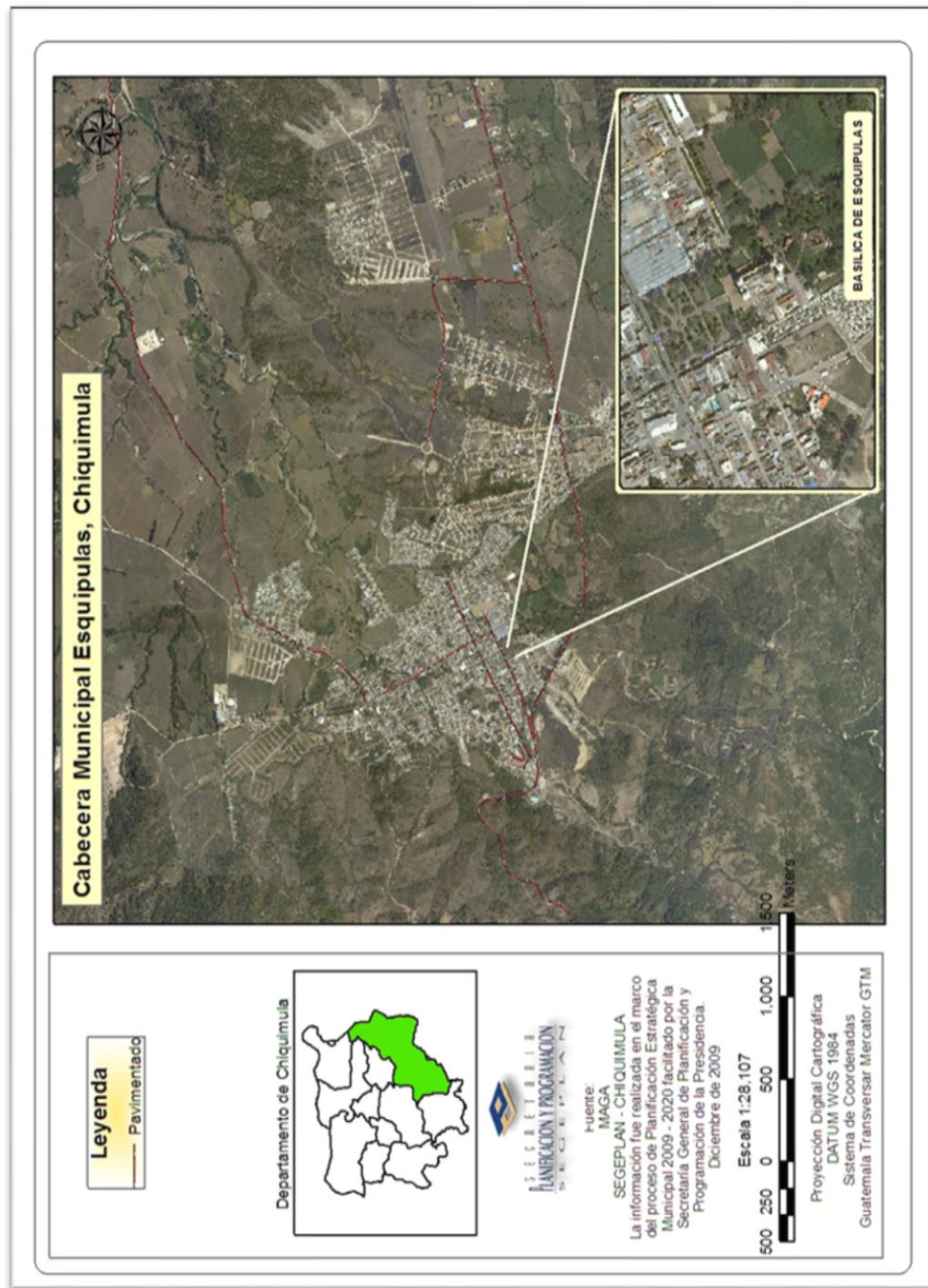
Concepción Las Minas y al este con la República de Honduras, la ubicación se presenta en la figura 1.

Tabla I. **Microregionalización del municipio de Esquipulas 2008**

REGION	ALDEA
Región I	Área Urbana, Ciracil, Tizaquín, San Joaquín, El Sillón y Vuelta Grande.
Región II	Aldea Santa Rosalía
	Aldea San Nicolás
	Aldea La Granadilla
Región III	Aldea Belén
	Aldea Cruz Alta
Región IV	Aldea Atulapa
Región V	Aldea Valle Dolores
	Aldea Olopita
Región VI	Aldea La Jagua
Región VII	Aldea Las Peñas
Región VIII	Aldea El Zarzal
	Aldea San Isidro
	Aldea Valle de Jesús
Región IX	Aldea Chanmagua
	Aldea Cafetales
Región X	Aldea Carrizal
Región XI	Aldea Horcones
Región XII	Aldea Timushán
	Aldea Monteros

Fuente: Plan de Desarrollo Municipal de Esquipulas p. 8.

Figura 1. Ubicación del municipio de Esquipulas, Chiquimula, 2009



Fuente: Plan de Desarrollo Municipal de Esquipulas. p. 8.

### **1.1.3. Clima**

Esquipulas tiene un clima muy variable, cálido templado seco, su temperatura promedio es de 25° grados Celsius, bajando a 10° grados Celsius ocasionalmente. Boscoso con invierno benigno especialmente el de las estribaciones de sus montañas. Los meses más calientes son marzo y abril y los más fríos diciembre y enero.

### **1.1.4. Extensión territorial del municipio de Esquipulas**

Geográficamente el territorio está dominado por montañas en un 70% y el resto son lomeríos y un valle ubicado en el centro del municipio donde se ubica la cabecera municipal. El uso actual del suelo en el municipio es en un 22% de café, 24% de arbustos y matorrales, 24 % de bosques de coníferas mixto, usos que son dinámicos y es necesario actualizarlos cada 2 años, para saber cuál es el comportamiento con respecto a los otros capitales en el medio en que se encuentran.

## **1.2. Dimensión social**

La cultura y las tradiciones son muy representativas en este municipio de lo cual lo aprovecha de una manera eficiente ya que su mayor auge económico proviene principalmente de las personas que visitan la imagen del Cristo Negro, visitan sus lugares turísticos y consumen sus productos que artesanos esquipultecos fabrican para este fin.

### **1.2.1. Demografía**

De acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal, la población actual del municipio de Esquipulas está compuesta por 53,201 habitantes, de los cuales 27,664 son mujeres y 25,537 son hombres; la densidad poblacional es de 105 habitantes por kilómetro cuadrado.

La mayor parte de la población rural carece de los servicios básicos de salud, educación, agua, etc. El área urbana cuenta con servicios de vivienda formal, agua potable, sistema de drenajes, servicio municipal de recolección de desechos sólidos, cobertura de energía eléctrica, telefonía fija e inalámbrica, servicio de televisión por cable y satelital, emisoras de radio, seguridad ciudadana con presencia de la Policía Nacional Civil, alumbrado público, hospitales privados y centro de salud, acceso a educación en los niveles de párvulos, primaria, básico, diversificado y superior, mercados comunales, de artesanías, comercio, servicio de transporte y hotelería.

### **1.2.2. Religión**

La cultura y tradición del municipio de Esquipulas, se basa en las fiestas religiosas de la Iglesia Católica, dentro de las cuales se destaca la veneración de fieles católicos hacia la imagen milagrosa del señor de Esquipulas, la cual lleva más de tres siglos de ser venerada.

### **1.2.3. Educación**

La cobertura educativa en el municipio cuenta con atención en todos los niveles desde la educación inicial hasta la educación superior aunque la educación superior solamente se ubica en la cabecera municipal, la cobertura

primaria en todo el municipio es del 93% el nivel diversificado tiene cobertura actual del 20.49% que está por encima del promedio departamental que es del 13.61%. El analfabetismo en el municipio se encuentra en un 26% que también se encuentra por debajo del promedio municipal que es del 33%.

El servicio de educación en el municipio de Esquipulas, cuenta en la cabecera municipal con buena cobertura en todos los niveles, pero, dista del área rural que no cuenta con el servicio de calidad y cobertura principalmente en el nivel básico, diversificado y superior, ocasionando que algunos de los estudiantes regulares que culminan un ciclo primario o básico no concluyan sus estudios de diversificado por carecer de disponibilidad del servicio cerca de su residencia.

### **1.3. Análisis y diagnóstico del proyecto**

Para que la calidad de vida de los pobladores mejore se realizó análisis y diagnóstico de las necesidades existentes de determinada región.

#### **1.3.1. Identificación y priorización de las necesidades**

De acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal del municipio de Esquipulas, se plantea mejorar la calidad y condiciones de vida de los habitantes del municipio por medio de la introducción de energía eléctrica, agua domiciliar y letrinización. De esta cuenta se identifica la prioridad de aumentar del 91.2% de cobertura eléctrica existente a una cobertura del 100% en todo el municipio, convirtiendo este proyecto en indispensable para el logro de este objetivo.

### **1.3.2. Requerimientos de la demanda con y sin proyecto**

Los requerimientos de la demanda de estas comunidades actualmente (situación sin proyecto), es de 57 familias, que no cuentan con ningún servicio público y es por eso que se vuelve importante abastecer de electricidad a este sector del municipio.

Las personas que habitan estas comunidades son pobres, pero están dispuestas a pagar mensualmente una tarifa, aunque esto represente un esfuerzo grande para cada familia. Están conscientes que será un gran paso hacia el desarrollo de sus comunidades, que puede abrir el camino para la introducción de otros servicios como agua potable, líneas telefónicas, asfalto en sus calles, etc. La introducción de energía eléctrica (situación con proyecto) a estas comunidades traerá a la población posibilidades de mejorar su condición de vida y empezar a pensar en otras actividades productivas además de la agricultura.

La demanda de energía eléctrica en áreas rurales se caracteriza por bajos niveles de consumo y grandes áreas de dispersión de la población. Es por esto que se deben satisfacer las necesidades eléctricas de estas familias con lo cual podrán tener mejores posibilidades y contribuirán al desarrollo de su región. Los usos domésticos de electricidad atienden a iluminación, comunicación como radio y televisión, conservación de los alimentos y calentamiento de agua.

### **1.3.3. Beneficios**

Los beneficios que traerá este proyecto de introducción de energía eléctrica a estas comunidades se reflejará en mejores condiciones de vida para

sus pobladores. Se estima que el gasto que realizan actualmente para poder contar con iluminación por medio de velas, leña y baterías, asciende a un promedio de ochenta quetzales, información proporcionada por los vecinos del lugar. El gasto que estas personas tendrán que realizar en el pago de la factura por energía eléctrica asciende a un promedio de setenta quetzales si consumen 100 kilovatios al mes, va a depender de las tarifas vigentes y las ayudas por tarifa social. Teniendo disponible el servicio en cualquier hora del día y sin tener que invertir tiempo en cortar o recolectar leña, compra de baterías y velas, como lo hacía anteriormente.

Otra ventaja será el evitarse enfermedades pulmonares, ya que todo el humo que generan las velas, carbón y ocote, es inhalado diariamente especialmente por los niños. El adecuado uso de la energía eléctrica ayudará a disminuir estas enfermedades entre los pobladores de estas comunidades, ya que se trata de evitar estas prácticas que han sido utilizadas por muchos años.

Los métodos de riego se pueden mejorar, utilizando sistemas de bombeo, lo cual mejorará los cultivos y el ahorro del vital líquido, se podrá trabajar más horas durante el día, lo cual también redundará en la productividad. Las granjas también podrán tener mejores resultados con la iluminación constante, acortando el tiempo de crecimiento de los pollos y gallinas ponedoras.

Habrán seguridad por las noches con alumbrado público, pueden abrir una escuela nocturna, lo cual podrían aprovechar los niños y jóvenes que trabajan en la agricultura durante el día ayudando a sus familias. También se puede extraer agua de pozos por medio de bombas eléctricas, etc.



## **2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

### **2.1. Métodos de diseño**

Los principales métodos de diseño para una red de distribución eléctrica rural se basan en el desarrollo de la ingeniería de red, los cuales se muestran ampliamente en el numeral 3.1 del siguiente capítulo.

#### **2.1.1. Sistema de distribución primaria**

La línea de distribución primaria de donde se tomará la alimentación para llevar el servicio hasta las comunidades de la aldea Atulapa, se encuentra en el kilómetro 227 carretera a Honduras, en ese mismo punto se encuentra el cruce hacia las comunidades Bojorquez, Horno de Videz y Agua Zarca. Esta se tomará como distribución primaria y será de 13.2kV.

##### **2.1.1.1. Líneas monofásicas**

La distribución monofásica es ideal para cargas pequeñas de iluminación, calefacción y motores, así como para usos residenciales, por lo que se hace adecuado para este proyecto.

##### **2.1.1.2. Usos y aplicaciones**

Se utiliza generalmente una línea monofásica para ampliaciones de una red de distribución eléctrica suburbana y/o rural con voltajes de 7.6 a 13.2

kilovoltios, éstas áreas generalmente están densamente arboladas con problemas de servicio y de impacto ambiental.

### **2.1.2. Sistema de distribución secundaria**

La distribución secundaria, es la porción del sistema de potencia que se utiliza para interconectar a los consumidores y está entre estos y la red de distribución primaria. Este sistema de distribución secundaria, se compone de varios elementos interconectados entre sí. Entre ellos se tienen: los transformadores de distribución, conductores, retenidas, tierras, acometidas, cortacircuitos, fusibles, postes, pararrayos, neutro y contadores de energía eléctrica. Esta distribución secundaria será únicamente monofásica con voltajes de 120/240 voltios por ser una extensión de línea en un área rural.

#### **2.1.2.1. Estructuras**

Son los medios utilizados para llevar las líneas o conductores eléctricos de una red de transmisión y/o distribución, estos pueden ser postes simples de madera u hormigón, así como torres de acero y varían directamente según el voltaje requerido y la capacidad de la línea.

#### **2.1.2.2. Tipos de postes**

Se utilizan diferentes tipos de postes, para los diferentes voltajes que se trabajen y el tipo de geografía de los terrenos. Generalmente se utilizan de 10.5 metros de alto para las líneas de alta tensión y de 9 metros de alto para la baja tensión; cuando ambas tensiones llevan el mismo curso se utilizan los destinados para alta tensión. La ubicación de los postes dependerá del levantado topográfico, elevaciones, callejones y geografía propia del terreno.

Para este proyecto se utilizarán postes de madera tratada que cumplan con las especificaciones indicadas en la tabla II, ya que el acceso actual no permite colocar postes de concreto y con el apoyo de los pobladores de las comunidades beneficiadas se realizará el traslado respectivo para su colocación. Aunque las prescripciones oficiales establecen que los postes pueden ser de madera tratada, concreto armado vibrado y metálico de chapa, lo importante es que se cumplan las normas de seguridad.

Tabla II. **Tipos de postes de madera**

Código	Designación	Poste
450 958	M-6- c5	Poste de madera de 6 m clase 5
450 959	M-9- c5	Poste de madera de 9 m clase 5
450 960	M-10- c5	Poste de madera de 10,5 m clase 5
450 961	M-10- c3	Poste de madera de 10,5 m clase 3
450 962	M-12- c3	Poste de madera de 12 m clase 3
450 963	M-12- c1	Poste de madera de 12 m clase 1
450 964	M-14- c3	Poste de madera de 14 m clase 3
450 965	M-14- c1	Poste de madera de 14 m clase 1

Fuente: Especificación Técnica de Materiales, Energuate.

### **2.1.2.3. Conductores**

Los conductores a utilizar en alta y mediana tensión serán del tipo ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced), para poder soportar cualquier

esfuerzo mecánico durante su instalación y durante su tiempo de servicio, así como la garantía de ser un buen conductor. Adicionalmente, va acorde dentro de los aspectos económicos a considerar dentro del proyecto.

Estos conductores ACSR cumplen con las características normadas por Energuate, previstas para la utilización en las líneas eléctricas aéreas de hasta 138 kilovoltios. En la tabla III se describen los códigos y nombres de los conductores más utilizados.

Tabla III. **Códigos de Conductores ACSR**

Código	Material
721 985	Conductor ACSR 636 MCM (Grosbeak)
330 480	Conductor ACSR 477 MCM (Hawk)
723 818	Conductor ACSR 336,4 MCM (Linnet)
436 990	Conductor ACSR 266 MCM (Partridge)
525 748	Conductor ACSR 4/0 AWG (Penguin)
436 978	Conductor ACSR 1/0 AWG (Raven)

Fuente: Especificación Técnica de Materiales, Energuate.

#### **2.1.2.4. Transformadores de distribución**

Generalmente los transformadores de distribución convierten el voltaje del circuito primario al voltaje de utilización, sus valores nominales más comunes son de 10, 15, 20, 25, 37.5, 50, 75 y 100 kilovoltiamperio.

Los transformadores monofásicos se emplean generalmente de tipo auto protegido, para dar servicio monofásico de 120 voltios, 2 hilos o 120/240 voltios, 3 hilos. Los transformadores auto protegidos están diseñados para convertir exclusivamente un voltaje en el lado primario entre la línea y tierra. Ésta es la causa de que tengan nada más un *bushing* primario, la otra terminal primaria es la tierra, o sea el tanque, que estará conectado sólidamente a la tierra instalada en la base del poste. Estos transformadores traen incorporada la protección necesaria para prevenir daños, o al menos minimizarlos, en los casos de un sobre voltaje (generada por una descarga atmosférica), de un circuito interno en su embobinado, de una sobre carga severa o de un cortocircuito en el secundario.

#### **2.1.2.5. Retenidas**

Las retenidas se instalan con el objetivo de equilibrar las fuerzas longitudinales originadas por tensiones desequilibradas en un vano o vanos adyacentes de un circuito, por operaciones de tendido, por rotura de conductores, por fuerzas transversales debidas al viento y a ángulos de deflexión. Las retenidas deben quedar alineadas con el eje de la red o con la bisectriz del ángulo formado con los ejes de la línea.

Las retenidas, se construyen en cable de acero galvanizado grado extra alta resistencia de un diámetro de 9,5 milímetros (3/8 de pulgada), amarrado con grapas prensadoras de tres tornillos, rematando las puntas del cable con hilos en espiral alrededor del mismo cable. Existen varios tipos de retenidas:

- Directo a tierra (poste a varilla de anclaje)
- Poste a poste
- Poste a poste con varilla de anclaje

- Terminal bandera poste a poste con varilla de anclaje, ver figura 2.

#### **2.1.2.6. Tierras**

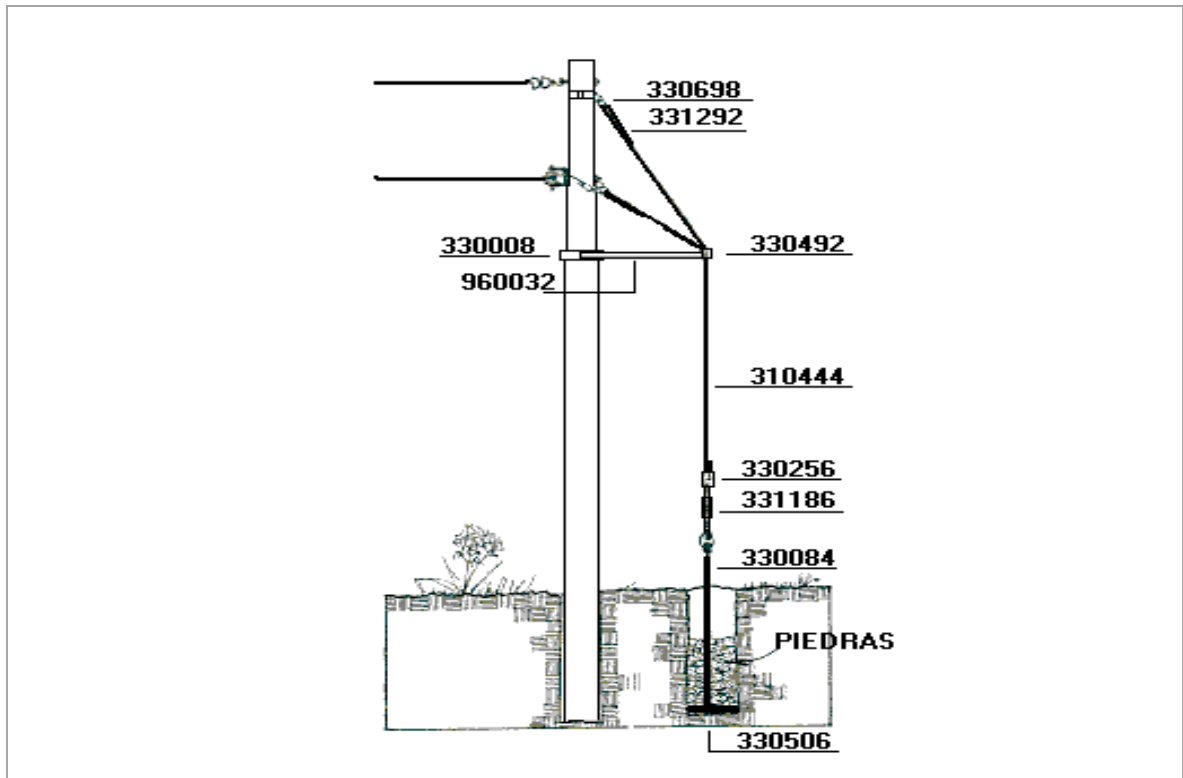
En una red de distribución es importante obtener valores relativamente bajos de resistencia de tierra en los puntos de conexión, ya que de éstos depende la seguridad de las personas y de los equipos interconectados a esta. La resistencia de tierra debe tener un valor máximo de 25 ohmios en tiempo de verano, cuando el terreno este húmedo debe tener un máximo de 10 ohmios, idealmente debe ser cero ohmios. Adoptados de las Normas Técnicas IEC 60364-4-442, ANSI/IEEE 80, NTC 2050 y NTC 4552, ver figura 2.

Para este caso la red de distribución tendrá retorno por hilo neutro, la puesta a tierra del transformador debe ser única y general. La bajada a tierra será mediante un cable de cobre desnudo de calibre 2 AWG, hacia la varilla de cobre de 5/8" por 8' de largo, conectados por medio de mordazas de compresión hidráulica.

En los puntos donde exista un transformador, se conectará la terminal del neutro al tanque del mismo, donde a su vez se conectará el secundario. Se debe asegurar que en los postes adyacentes, adicionalmente se coloque una puesta a tierra. Si no se alcanza el valor de resistencia requerido, se debe incrementar el número de varillas hasta alcanzar el valor requerido.

La resistencia de puesta a tierra debe ser medida antes de la puesta en funcionamiento de un sistema eléctrico, como parte de la rutina de mantenimiento o excepcionalmente como parte de la verificación de un sistema de puesta a tierra. Para su medición se puede aplicar la técnica de Caída de Potencial, cuya disposición de montaje se muestra en la figura 3.

Figura 2. Ancla en Bandera de Asta Simple

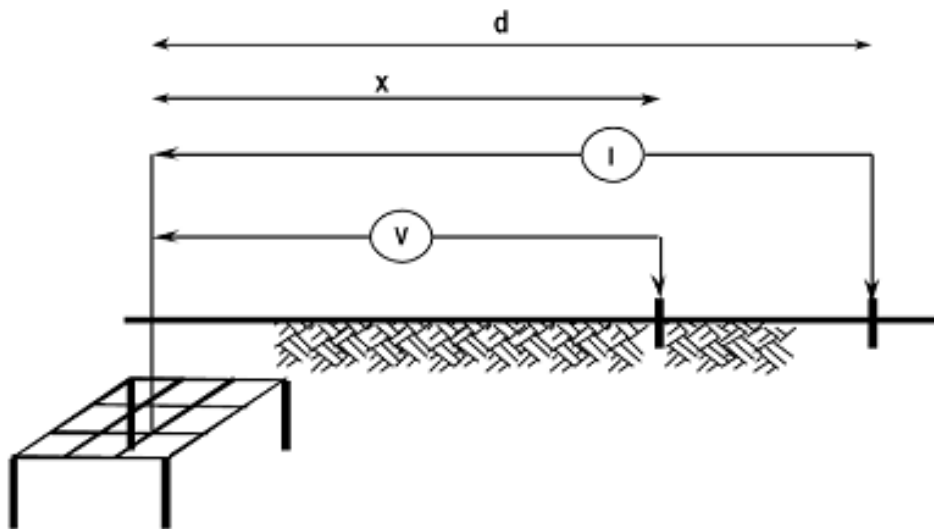


CODIGO	MATERIAL	CANT.
310444	CABLE PARA TIRANTE 7.94 mm <sup>2</sup> ( 5/16" ) PARA EL ANCLA	29
330008	ABRAZADERA DOBLE DE 177.8 A 228.6 mm ( 7" A 9" )	2
330084	ANCLA DE DOS OJOS DE 15.88 X 1828.8 mm ( 5/8" X 6' )	1
330256	CONECTOR WR 189	1
330492	DEDAL GALVANIZADO SDE 7.94 mm ( 5/16 " )	1
330506	DISCO PLASTICO DE POLIPROPILENO DE 115 plg. <sup>2</sup>	1
330698	GANCHO DE PARA TIRANTE	2
331186	PRENSAS TRIPLES DE 7.94 A 11.11 mm ( 5/16" Y 7/16" )	2
331292	REMATE PREFORMADO PARA TIRANTE 7.94 mm <sup>2</sup> (5/16 " )	3
960032	HIERRO ANGULAR NEGRO DE 38.1 X 38.1 X 6.35 mm ( 1 1/2" X 1 1/2" X 1/4" )	10

Fuente: Normas EEGSA.

El valor de resistencia de puesta a tierra que se debe tomar al aplicar este método, es cuando la disposición del electrodo auxiliar de tensión se encuentra al 61.8 % de la distancia del electrodo auxiliar de corriente, siempre que el terreno sea uniforme. Igualmente, se podrán utilizar otros métodos debidamente reconocidos y documentados en las normas y prácticas de la ingeniería.

Figura 3. **Esquema de medición de resistencia de puesta a tierra**



Fuente: <http://portalelectricos.com/retie/cap2art15.php#valores>. Consulta: 8 de febrero de 2013.

Donde:

d = Distancia de ubicación del electrodo auxiliar de corriente, la cual debe ser 6.5 veces la mayor dimensión de la puesta a tierra a medir, para lograr una precisión del 95% (según IEEE 81).

x = Distancia del electrodo auxiliar de tensión.

$R_{PT}$  = Resistencia de puesta a tierra en ohmios, calculada como  $V/I$ .



### **2.1.2.7. Acometidas**

Las acometidas están compuestas por todos los elementos utilizados para interconectar la energía eléctrica de la red de distribución hacia la instalación eléctrica del inmueble del usuario final.

Se tiene contemplado que el servicio que se brindará a las comunidades sea de 120/240 voltios monofásico y una frecuencia de 60 hertz, tal como está normado para este país. Los usuarios de esta región están considerados como pequeños consumidores, por lo que es suficiente para cubrir las necesidades requeridas. Se tiene establecido por norma que cada vivienda sea alimentada únicamente por una sola acometida.

### **2.1.2.8. Cortacircuitos, pararrayos y fusibles**

Toda la red deberá protegerse y poderse aislar de la línea principal de alta tensión, por medio de los respectivos cortacircuitos, fusibles y pararrayos. Estos elementos son utilizados para la protección de sobre corrientes y sobre tensiones.

### **2.1.2.9. Neutro**

Todas las líneas de distribución trifásica o monofásica llevarán su correspondiente neutro; en el caso de las estructuras con distribución secundaria solamente el neutro de la distribución primaria será el mismo que el neutro de la distribución secundaria. En todo caso no deberán existir sectores de líneas de primario sin neutro ya sea común con el secundario o propio.

El neutro de todos los sectores deberá ser uno solo. Cuando haya sectores de la red sin el secundario como en el caso de separación de circuitos, el neutro deberá extenderse para unir a ambos sectores para formar un solo circuito de neutro. Se deberá tomar cuidado especial del aspecto de la holgura de hilo neutro.

En cada transformador de distribución, el neutro se conecta a tierra a intervalos frecuentes. El neutro lleva una parte de las corrientes de carga desbalanceadas o residuales, tanto para los sistemas primarios como secundarios.

### **2.1.3. Medidas de seguridad en la construcción de una red de distribución**

Para resguardar la integridad a las personas y a los bienes, tanto en el momento de la instalación como en la operación, se deben considerar ciertas medidas de seguridad en la construcción de una red de distribución eléctrica.

Estas medidas se traducen a normas y están establecidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), y se detallan la resolución CNEE 47-99 en las Normas Técnicas de Diseño y Operación de Instalaciones de Distribución (NTDROID).

#### **2.1.3.1. Profundidad de enterrado de postes y anclajes**

La perforación de agujeros para postes consiste en la apertura de un agujero en la superficie de la tierra, que servirá para empotrar postes en media y baja tensión, la profundidad irá en función de la longitud de los postes, que en

el caso de los postes de madera, será del 10% de la longitud más un mínimo de 70 centímetros recomendados por el fabricante de postes de la tabla IX. Para postes con una longitud de 10.60 m (35`) se perforará un agujero de profundidad no menor de 1.80 m. Y para postes con una longitud de 9.00 m (30`) se perforará un agujero de profundidad no menor de 1.65 m.

Las retenidas deberán fijarse al poste con los herrajes y no se permitirá fijaciones con amarres o enrollados. Los agujeros para la colocación de anclas deberán hacerse verticalmente y con la ranura correspondiente, practicada en el suelo, para que la varilla que conecta el ancla al cable quede en la misma dirección de dicho cable.

#### **2.1.3.2. Selección de la trayectoria**

Esta depende directamente de la topografía del lugar y del criterio del diseñador, así como de los permisos y derechos de vía y principalmente de la ubicación de las viviendas a cubrir con el servicio de energía eléctrica. Se debe considerar adicionalmente, lograr la trayectoria más recta posible, acortando distancias, cercanía a carreteras y caminos de terracería, facilitando la instalación y el mantenimiento, evitar accidentes geográficos y áreas boscosas y de producción agrícola. Estas consideraciones permitirán tomar la mejor trayectoria logrando optimizar los recursos tanto materiales como de impacto ambiental.

#### **2.1.3.3. Distancias mínimas horizontal y vertical entre conductores**

La distancia horizontal entre conductores y cables, ya sean del mismo o de diferente circuito, no debe ser menor que la especificada en la tabla IV.

Tabla IV. **Distancia mínima horizontal entre conductores**

Clase de Circuito	Distancia Mínima de Seguridad (cm)
Conductores eléctricos del mismo circuito	
· De 0 a 8.7 kV.	30
· De 8.7 a 50 kV.	30 más 1.0 cm por cada kV en exceso de 8.7 kV.
· Mayor de 50 kV.	No hay valor especificado
Conductores eléctricos de diferentes circuitos	
· De 0 a 8.7 kV.	30
· De 8.7 a 50 kV.	30 más 1.0 cm por cada kV en exceso de 8.7 kV.
· De 50 a 814 kV.	72.5 más 1.0 cm por cada kV de exceso de 50 kV.

Fuente: Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDROID), Resolución CNEE No. 47-99, tabla No. 5

La distancia vertical entre conductores que se crucen o sean adyacentes, soportados en diferentes estructuras, deberá ser cuando menos la indicada en la tabla V.

**Tabla V. Distancia mínima de seguridad vertical entre conductores y cables de diferente estructura**

NIVEL INFERIOR	NIVEL SUPERIOR			
	Conductores neutrales que cumplen con 18.1 E1, retenidas aéreas(m)	Cables y conductores, mensajeros, retenidas de comunicación (m)	Conductores Suministradores de línea abierta. De 0 a 750 V (m)	Conductores Suministradores de línea abierta. De 750 V a 22 kV. (m)
Conductores neutrales que cumplen con 18.1 E1, retenidas aéreas	0.6	0.6	0.6	0.6
Cables y Conductores, mensajeros, retenidas de comunicación	----	0.6	1.2	1.5
Conductores Suministradores de línea abierta. De 0 a 750 V.	----	----	0.6	0.6
Conductores Suministradores de línea abierta. De 750 V a 22 kV.	----	----	----	0.6

Fuente: Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDOID), Resolución CNEE No. 47-99, tabla No. 3

#### **2.1.3.4. Distancias mínimas entre conductores y estructuras**

Cuando se usen aisladores de suspensión que puedan oscilar libremente, la distancia mínima debe ser incrementada lo suficiente para que, cuando la cadena de aisladores forme su máximo ángulo de diseño con la vertical, la distancia no sea menor que la indicada en la tabla VI.

Tabla VI. **Distancias mínimas de separación entre conductores y estructuras**

LINEA AEREA	LINEAS DE SUMINISTRO		
	TENSION ENTRE FASES		
	0 a 8.7 kV	8.7 a 50 kV.	50 a 814 KV.
	cm	cm	Cm
CONDUCTORES VERTICALES O DERIVADOS			
· Del mismo circuito	7.5	7.5 más 0.65 cm por cada kV en exceso de 8.7 kV	Valor no especificado
· De diferente circuito	15	15 más 1cm por cada kV en exceso de 8.7 kV	58 más 1 cm por cada kV en exceso de 50 kV
RETENIDAS Y MENSAJEROS SUJETOS A UNA MISMA ESTRUCTURA			
· Cuando estén paralelos a la línea	30	30 más 1 cm por cada kV en exceso de 8.7 kV	74 más 1 cm por cada kV en exceso de 50 kV
· Retenidas de ancla	15	15 más 0.65 por cada kV en exceso de 8.7 kV	41 más 0.65 cm por cada kV en exceso de 50 kV
· Otros	15	15 más 1cm por cada kV en exceso de 8.7 kV	58 más 1 cm por cada kV en exceso de 50 kV
SUPERFICIES DE CRUCETAS	7.5	7.5 más 0.50 cm por cada kv en exceso de 8.7 kV	28 más 0.50 cm por cada kv en exceso de 50 kV
SUPERFICIES DE ESTRUCTURAS			
· Que soporten líneas de comunicación y eléctrica	12.5	12.5 más 0.50 cm por cada kV en exceso de 8.7 kV	33 más 0.50 cm por cada kv en exceso de 50 kV
· Otros	7.5	7.5 más 0.50 cm por cada kv en exceso de 8.7 kV	28 más 0.50 cm por cada kv en exceso de 50 kV

Fuente: Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDOID), Resolución CNEE No. 47-99, tabla No. 9

#### **2.1.3.5. Distancias mínimas entre conductores y nivel del suelo**

La altura mínima que deben guardar los conductores y cables de líneas aéreas, respecto del suelo, agua y parte superior de rieles de vías férreas, deben ser como mínimo las indicadas en la tabla VII.

#### **2.1.3.6. Cumplir con los requisitos del derecho de vía**

De acuerdo a la Ley General de Electricidad de Guatemala, en el artículo 32 incisos a y b, se establece que se debe permitir por parte de los propietarios o poseedores de los predios a utilizar para la construcción del proyecto los permisos para supervisión, mantenimiento, paso de inspectores y trabajadores que intervengan en el transporte de materiales y equipos necesarios, tanto para construcción, mantenimiento y reparación o modificación de las instalaciones.

También especifica de dentro del espacio que ocupa el derecho de vía no deben existir ni se pueden hacer construcciones u otros trabajos dentro del área, exceptuando los cultivos, siembras y en general uso de la tierra que no afecten las libranzas eléctricas y especificaciones técnicas, las cuales se realizarán por cuenta y riesgo del propietario del inmueble.

**Tabla VII. Distancias mínimas de seguridad verticales de conductores sobre vías férreas, el suelo o agua**

Naturaleza de la superficie bajo los conductores	Conductores de comunicación aislados, retenidas aterrizadas, conductores neutros y cables eléctricos aislados. (m)	Cables suministradores aislados de más de 750 V y conductores en línea abierta de 0 - 750 V. (m)	Conductores suministradores en línea abierta arriba de 750 V a 22 kV. (m)	Conductores suministradores en línea abierta arriba de 22 a 470 kV. (m)
Vías férreas	7.2	7.2	8.1	8.1 + 0.01 m por cada kV arriba de 22 kV.
Carreteras, calles, caminos y otras áreas usadas para tránsito	4.7	5	5.6	5.6 m + 0.01 m por cada kV arriba de 22 kV.
Aceras o caminos accesibles sólo a peatones	2.9	3.8	4.4	4.4 m + 0.01 m por cada kV arriba de 22 kV.
Aguas donde no está permitida la navegación	4	4.6	5.2	5.2 m + 0.01 m por cada kV arriba de 22 kV
Aguas navegables incluyendo ríos, lagos, estanques, arrollos y canales con un área de superficie sin obstrucción de:				
a) Hasta 8 ha	5.3	5.6	6.2	6.2/8.7/10.5 ó 12.3
b) Mayor a 8 hasta 80 ha	7.8	8.1	8.7	m + 0.01 m por cada
c) Mayor de 80 hasta 800 ha	9.6	9.9	10.5	kV arriba de 22 kV
d) Arriba de 800 ha	11.4	11.7	12.3	

Fuente: Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDOD), Resolución CNEE No. 47-99, tabla No. 2



### **2.1.3.7. Ubicación de las estructuras**

Las estructuras se deberán instalar en lugares en donde las condiciones de tránsito no sean adversas, evitando riesgos de colisión sobre las mismas, en poblaciones urbanizadas, todas las estructuras deberán quedar alineadas y en un solo lado de la acera o calle para toda la red, en sentido longitudinal y transversal. Las estructuras deberán ser ubicadas frente a los límites de propiedad en donde estos colindan.

### **2.1.3.8. Condiciones meteorológicas**

Con el propósito de establecer las cargas mínimas que deben considerarse en el cálculo mecánico de líneas aéreas, según el lugar de su instalación, el país se ha dividido en 3 zonas de viento, de acuerdo a lo estipulado en el artículo 19.2 de las NTDOID, la localización geográfica de estas zonas se indica en la figura 4, en las cuales se calculará la presión ejercida por el viento como la correspondiente a una velocidad no menor de las que se indican a continuación:

Zona 1 = 80 kilómetros por hora

Zona 2 = 100 kilómetros por hora

Zona 3 = 120 kilómetros por hora

Para este proyecto, corresponde utilizar 80 kilómetros por hora, debido a que la ubicación geográfica de las comunidades en estudio está dentro de la cobertura de la zona 1 indicada en la figura 4.

En la figura 5, se muestra al país dividido en 4 zonas de temperatura, en las cuales se supondrá que los conductores estarán sometidos a las siguientes temperaturas mínimas y máximas:

Zona 1 = mínima 10° C; máxima 50°C

Zona 2 = mínima -5° C; máxima 40°C

Zona 3 = mínima 0° C; máxima 50°C

Zona 4 = mínima 0° C; máxima 40°C

Correspondiendo a éstas comunidades la zona 1, mínima 10° Celsius y máxima 50° Celsius.

#### **2.1.4. Tipos de estructuras**

Las estructuras que se utilizan en la construcción de líneas de transmisión y distribución aéreas para soportar los conductores de energía eléctrica, deberán cumplir con las Normas de Ingeniería Estructural. Entre las estructuras más simples y utilizadas se encuentran los postes de concreto, madera y metal. Dependiendo del ángulo que llevará la trayectoria de la línea, así como el uso que se requiera, sea este de inicio de troncal o de remate, las estructuras se clasifican de la siguiente forma:

Estructura tipo I: con ángulo de 0° a 5°

Estructura tipo II: con ángulo de 5° a 30°

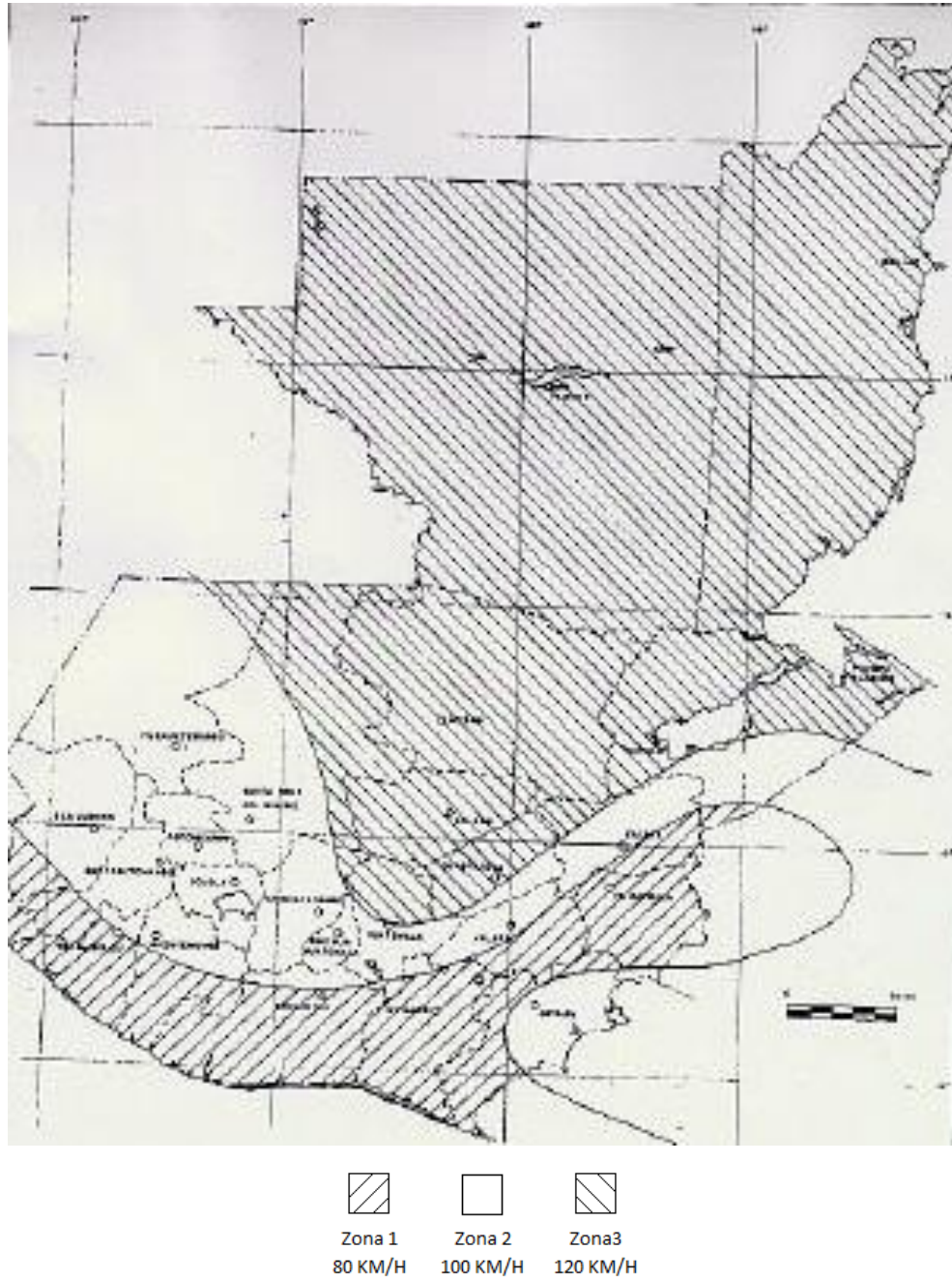
Estructura tipo III: con ángulo de 30° a 60°

Estructura tipo IV: con ángulo de 60° a 90°

Estructura tipo V: con ángulo variable

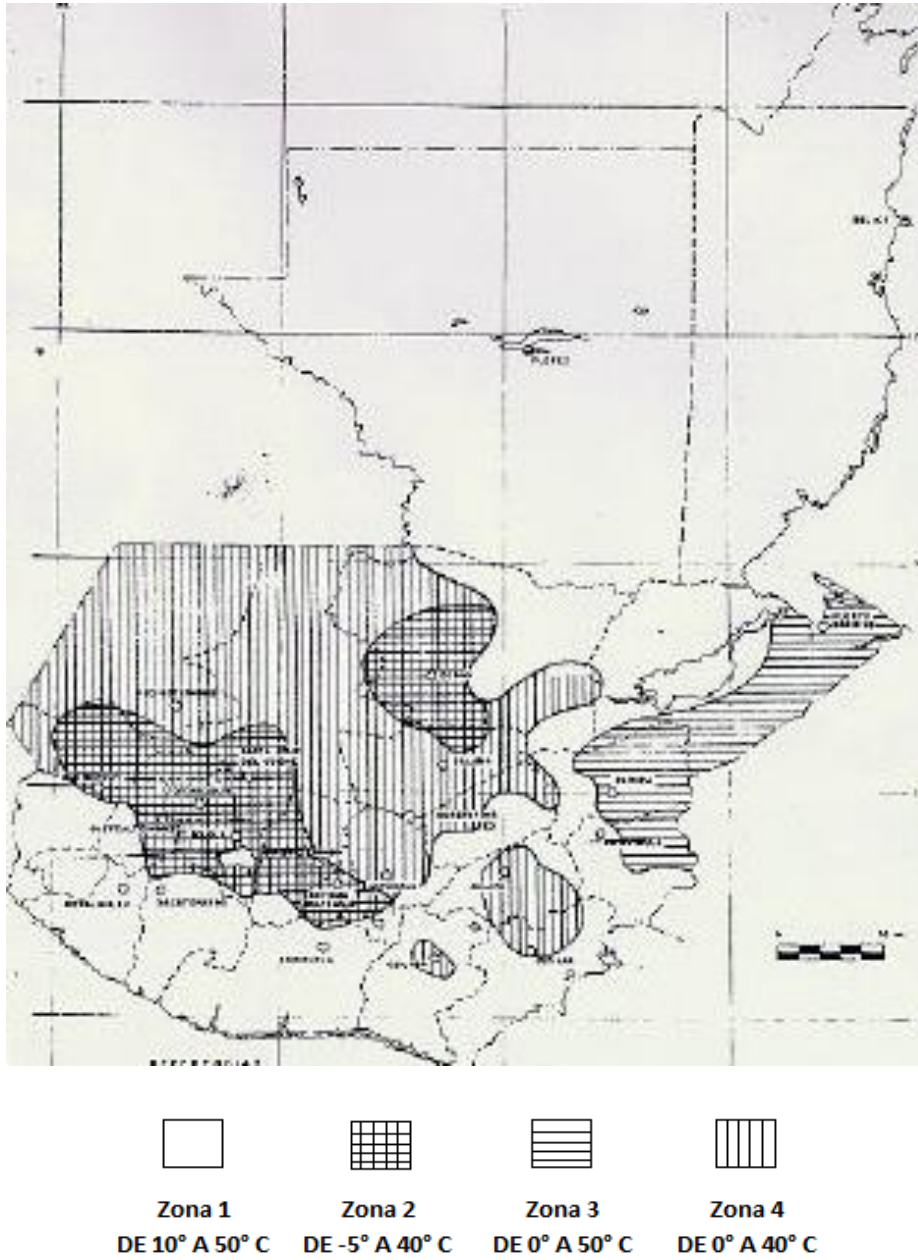
Estructura tipo VI: remate, final de línea

Figura 4. Zonas de viento máximo por región



Fuente: Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDOID), Resolución CNEE No. 47-99, figura No. 8.

Figura 5. Zonas de temperatura por región



Fuente: Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDOID), Resolución CNEE No. 47-99, figura No. 9.

#### **2.1.4.1. Tipos de construcción de estructuras de soporte**

Existen diversidad de tipos de construcción de estructuras de soporte y estos dependen de lo que se requiera transportar, en cuanto a voltaje se refiere. Se han construido una gran variedad de torres de transmisión, entre ellas las más importantes y más usadas son las torres de amarre, las cuales deben ser mucho más fuertes para soportar las grandes tracciones generadas por la necesidad de dar un giro con un ángulo determinado para cruzar carreteras, evitar obstáculos, así como también cuando es necesario elevar la línea para subir un cerro o pasar por debajo/encima de una línea existente.

Existen también las llamadas torres de suspensión, las cuales no deben soportar peso alguno más que el del propio conductor. Este tipo de torres son usadas para llevar al conductor de un sitio a otro, tomando en cuenta que sea una línea recta, que no se encuentren cruces de líneas u obstáculos.

La capacidad de la línea de transmisión afecta al tamaño de estas estructuras principales. Por ejemplo, la estructura de la torre varía directamente según el voltaje requerido y la capacidad de la línea. Las torres pueden ser postes simples de madera para las líneas de transmisión pequeñas hasta 46 kilovoltios (kV).

#### **2.1.5. Cálculos eléctricos de las líneas de distribución**

Seguidamente se detalla información que permite la realización de los cálculos eléctricos para las respectivas líneas de distribución.

### 2.1.5.1. Resistencia

Normalmente, todos los sistemas de transmisión y distribución utilizan conductores de aluminio debido a su economía, buenas propiedades eléctricas de conducción, bajo peso, etc. El valor de esta resistencia, varía al ser operado a distintas temperaturas y longitudes del conductor. El cálculo de la resistencia se efectúa por la fórmula:

$$R = (\rho \cdot l) / A$$

Donde:

- R: Resistencia del conductor ( $\Omega$ )
- $\rho$ : Resistividad del metal para una temperatura específica ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ )
- A: Sección del conductor
- l: Longitud del conductor

### 2.1.5.2. Reactancia inductiva

La reactancia  $X_L$  de la línea, por unidad de longitud en cada fase, para líneas equilibradas, se determinará mediante la siguiente expresión:

$$X_L = \omega L = 2 \pi f L \quad (\Omega/\text{km})$$

En la que:

- $X_L$  = Reactancia Inductiva en ohmios
- $L$  = Inductancia en henrios
- $f$  = Frecuencia de la red (60hertz)
- $\omega$  = Frecuencia angular

Donde el coeficiente de inducción mutua por unidad de longitud vendrá dada por la expresión:

$$L = \left( 4.605 \log \frac{D_m}{r_{eq}} \right) 10^{-4} \quad (\text{H/km})$$

Donde:

$D_m$  : Distancia media geométrica entre conductores (mm)

$r_{eq}$  : Radio equivalente del haz de conductores (mm)

### 2.1.5.3. Susceptancia

La susceptancia de la línea, por unidad de longitud en cada fase, para líneas equilibradas, se determina mediante la siguiente expresión:

$$B = 2\pi f C$$

Siendo  $C$  la Capacidad por unidad de longitud (F/km), que viene dada por:

$$C = \frac{24,2}{\log \frac{D_m}{r_{eq}}} 10^{-9}$$

Siendo:

$D_m = \sqrt[3]{d_{12}d_{23}d_{31}}$  (mm) para configuración de circuito simple

$r_{eq} = r$  (mm) para configuración de circuito simple

Donde:

$r$  : Radio del conductor (mm)

$d_{j,k}$  : Distancia entre el conductor  $j$  y el  $k$  (mm)

#### **2.1.5.4. Intensidad máxima de corriente**

La intensidad máxima de corriente para cada conductor viene establecida por las NTDOID, en el artículo 17.3 se recomienda que al seleccionar cables desnudos de aluminio, como son los conductores a utilizar para este proyecto, no sobrepasar los valores que han sido determinados de acuerdo a sus propiedades físicas del material, considerando sus variaciones de temperaturas máximas y mínimas.

En la tabla VIII, se muestran los valores máximos de capacidad de conducción de corriente, para los calibres de conductores más usados en líneas aéreas. Operando a un régimen constante de carga y a 75°C de temperatura total en el conductor, operando a un régimen de carga constante, ver tabla VIII.

#### **2.1.5.5. Potencia a transportar**

La potencia máxima a transportar, vendrá limitada por la intensidad máxima admisible del conductor y por la caída de tensión máxima que no deberá exceder del 5%.



Tabla VIII. **Capacidad máxima de conducción de corriente en conductores ACSR**

CALIBRE AWG o MCM	ACSR (AMPERES)
8	-
6	100
4	140
2	180
1/0	230
2/0	270
3/0	300
4/0	340
266.8	460

- 1) Temperatura total máxima en el conductor: 75°C
- 2) Temperatura ambiente: 25°C
- 3) Velocidad del viento: 0.6 m/s
- 4) Factor de emisividad: 0.5
- 5) Frecuencia: 60 Hertz
- 6) (\*): Conductor de cobre duro con 97.3% de conductividad

Fuente: Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDOID), Resolución CNEE No. 47-99, figura No. 1.

La máxima potencia de transporte de la línea, limitada por la intensidad máxima admisible, se determinará mediante la siguiente expresión:

$$P_{\max} = U \cdot I_{\max} \cdot \cos \varphi$$

Siendo:

$P_{\max}$ : Potencia máxima que puede transportar la línea (MW)

$U$  : Tensión nominal compuesta de la línea (kV)

$I_{\max}$  : Intensidad máxima de la línea del conductor (kA)

$\cos \varphi$ : Factor de potencia de la carga receptora.

Como se puede observar la potencia a transportar, únicamente está limitada por la intensidad máxima admisible del conductor, para los distintos niveles de tensión y para factores de potencia de 0.8, 0.9 y 1.

#### **2.1.5.6. Características generales del tramo de línea en estudio para la evaluación económica**

- Nombre: Proyecto para Introducción de energía Eléctrica para las Comunidades Bojorquez, Horno de Vides y Agua Zarca de la Aldea Atulapa.
- Tensión nominal de diseño: 13.2 kV
- Frecuencia: 60 Hz
- Fases: 1
- Longitud: 12 kilómetros
- Viento máximo: 80 km/h (figura 4 de este capítulo)
- Rango de temperaturas: 10° a 50° C (figura 5 de este capítulo)

#### **2.1.5.7. Elementos de diseño de una línea de distribución de 13.2 kV**

Tomando en cuenta todas las normas de construcción de líneas eléctricas (NTDOID), estas definen las condiciones técnicas mínimas para el diseño de líneas primarias aéreas en 13.2 kilovoltios, de tal manera que garanticen los niveles mínimos de seguridad para las personas y las propiedades, y el cumplimiento de los requisitos exigidos para un sistema económicamente

adaptado. Estas normas se aplicarán en la elaboración de los Estudios de Ingeniería Definitiva.

La optimización de un diseño se centra en una serie de aspectos importantes que se deben considerar, tales como buena selección de la ruta, conductores adecuados, estructuras que estén diseñadas para considerar la resistencia mecánica, los cambios de temperatura y vientos fuertes. Se deben dimensionar adecuadamente los equipos, soportes y herrajes a utilizar, así como la correcta instalación de cada uno de ellos. Se debe considerar también la ubicación de las estructuras tomando en cuenta las distancias mínimas expuestas en incisos anteriores.

## **2.2. Protección de redes de distribución contra sobre corrientes**

Para que el sistema funcione de una forma segura, siempre hay que considerar la protección adecuada, por lo que a continuación se detallan algunos de los dispositivos a ser utilizados.

### **2.2.1. Dispositivos empleados para la protección de redes que conforman el sistema de distribución primaria**

Para operar la red de distribución eléctrica, surge la necesidad de ejecutar maniobras para conectar y desconectar cargas, estas maniobras se realizan por medio de dispositivos desarrollados para este propósito. Entre ellos están los interruptores, cortacircuitos y fusibles, *recloser* y seccionadores.

### **2.2.2. Cortacircuitos y fusibles**

Todas las derivaciones se deberán proteger y aislar, de la línea principal (troncal o ramal), mediante los correspondientes, pararrayos y cortacircuitos fusibles. Para su aplicación, se consideran los parámetros de capacidad nominal y de interrupción, ambas se miden en Amperios (A). La capacidad nominal es la corriente máxima que puede circular en el circuito sin provocar daño a la red, normalmente se utilizan cortacircuitos de 100 A y de 200 A. La capacidad de interrupción, es la máxima falla que puede interrumpir un dispositivo sin dañarlo. Para el de 100 A puede interrumpir hasta 10,000 A y el de 200 A hasta 16,000 A.

### **2.2.3. Restaurador (*recloser*) de subestación**

Es un interruptor de circuito, equipado con un mecanismo que puede cerrar automáticamente el interruptor después de que se ha abierto debido a una falla. Estos se utilizan en redes de distribución aérea, para detectar e interrumpir fallas momentáneas. Estos equipos ayudan a dar continuidad al servicio de forma automática. Por ejemplo, una rama de un árbol que se mueve por el viento fuerte provocado por una tormenta, cae sobre una línea de distribución, esto puede provocar un corto circuito, causando daño. Sin embargo, la falla se libera rápidamente por sí sola, así como la rama cae al suelo.

### **2.2.4. Seccionadores**

Estos dispositivos llamados también cuchillas desconectoras, se utilizan para abrir circuitos eléctricos, protegiendo los mismos de cargas muy elevadas. Se componen de las siguientes partes: cuchillas con doble solera de

cobre, contacto fijo recubierto de plata para trabajo duro, multicontacto móvil, cámara interruptora para garantizar la interrupción eléctrica sin arco, contacto de bisagra, aisladores tipo estación de porcelana, base acanalada de acero resistente a la corrosión y un mecanismo de operación que permite el montaje en una amplia variedad de estructuras.

### **2.2.5. Fallas permanentes y temporales**

Las fallas en un sistema de distribución, de acuerdo con su naturaleza, se clasifican en permanentes y temporales. Las fallas temporales son las que se pueden resolver antes de que dañen algún equipo o a las instalaciones, como ejemplo se puede citar el arqueo que se produce en los aisladores debido a sobre tensiones por descargas atmosféricas, o a contactos entre los cables por fuertes vientos o ramas de un árbol sobre los conductores. Una falla temporal puede llegar a convertirse en permanente.

Una falla permanente es aquella que persiste a pesar de la rapidez con que el circuito se desenergiza. Por ejemplo, si dos o más conductores desnudos en un sistema de distribución aérea se juntan debido a una rotura de postes, crucetas o conductores se le denomina falla permanente.

### **2.2.6. Funciones de un sistema de protección contra sobre corrientes**

Como función principal de un sistema de protección, se debe garantizar poder aislar las fallas permanentes, la segunda función es poder desenergizar rápidamente fallas transitorias o temporales. Otra función es minimizar el tiempo de localización de fallas. La cuarta función es prevenir contra daño al equipo no fallado.

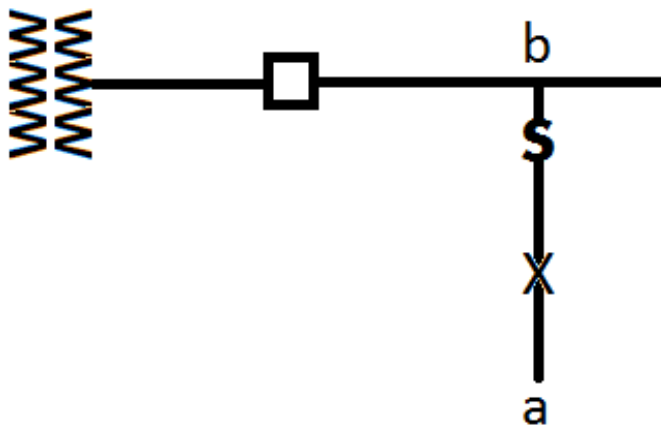
### 2.2.7. Aspectos importantes para el diseño del sistema de protección y selección del equipo

La protección contra sobre corrientes se considera hoy en día como una ciencia y un arte. Se debe aplicar principios de ingeniería bien fundamentados para calcular las corrientes de falla, determinando los valores nominales de los equipos requeridos y su ubicación más idónea para proteger la red.

### 2.2.8. Coordinación de restaurador con fusibles de distribución

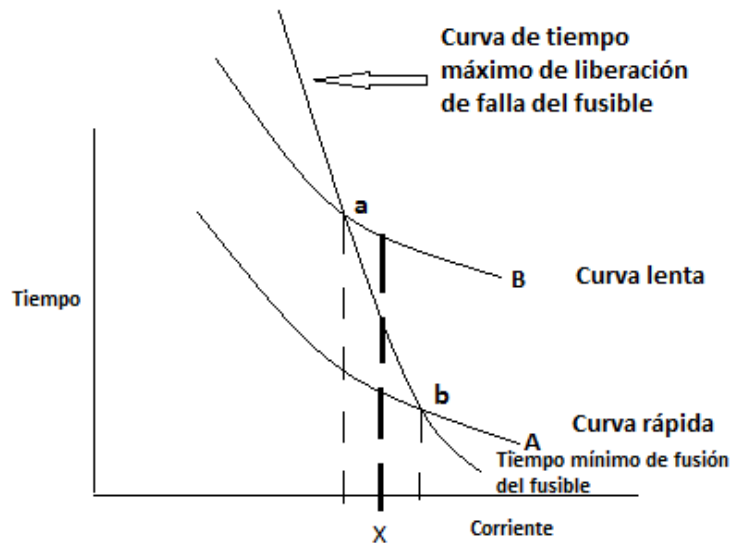
En la figura 6, se muestra el diagrama unifilar eléctrico del fusible para analizar la coordinación de restauradores y fusibles y en la figura 7 se muestran las curvas del restaurador montadas en las curvas del fusible.

Figura 6. Diagrama unifilar para analizar la coordinación de restauradores y fusibles



Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

Figura 7. **Curvas del restaurador montadas en las curvas de fusibles**



Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

Para explicar la figura 7, suponer que el restaurador está programado para hacer una operación de apertura en curva rápida y dos en curva lenta. Asumir que el valor máximo de corto circuito ocurre en el punto b y el valor mínimo ocurre en el punto a. Si fuera posible obtener un fusible cuya curva quede en medio de la curva lenta y de la curva rápida del restaurador para todos los valores de corriente de falla que ocurren entre el punto b y el punto a (rango de coordinación), se puede concluir que el fusible y el restaurador coordinan adecuadamente.

Para una falla en el punto x el sistema funcionará de la siguiente forma:

- **Falla temporal:** el restaurador detecta la corriente de cortocircuito y abre utilizando su curva rápida, con lo que se libera la misma antes de que el fusible comience a fundirse. Cuando el restaurador hace su primera

operación de reenganche, la avería ya se ha liberado (falla temporal) y por lo tanto, el restaurador permanece cerrado manteniendo la continuidad del servicio.

- **Falla permanente:** El restaurador detecta la corriente de corto circuito y abre utilizando su curva rápida antes de que el fusible comience a fundirse, posterior a lo cual hace su primer reenganche. Siendo la falla permanente, cuando el restaurador hace su reenganche, la falla permanece, por lo que el restaurador inicia su segunda operación de apertura temporizando en curva lenta, sin embargo, antes de que el restaurador opere, el fusible se quema aislando el área con falla.

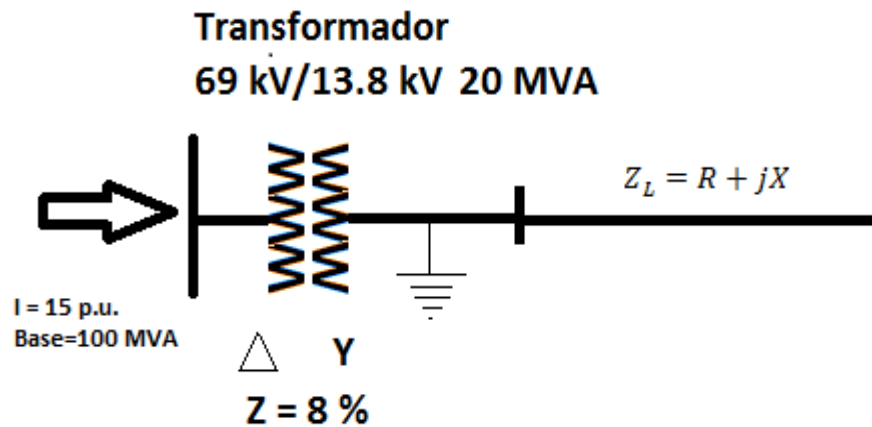
### **2.2.9. Cálculo de corto circuito**

Para este estudio, se desarrollará el cálculo de corto circuito monofásico, tomando como referencia los valores de las impedancias de líneas del REA (Rural Electrification Administration) y McGraw Edison.

En el diagrama unifilar de la figura8, se muestra un ejemplo de un circuito con transformación delta en el primario y estrella aterrizado en el secundario, de 69 kV a 13.8 kV, para su análisis. La impedancia de 10% del transformador, viene dada por una base de 15 MVA, por lo que para ponerla en base 100 MVA se hace la siguiente operación. Los datos que se requieren para realizar el análisis, son el diagrama unifilar (figura8) y los cálculos que se obtendrán de las fórmulas correspondientes de impedancia y corriente de corto circuito.



Figura 8. Diagrama unifilar y datos del ejemplo de corto circuito



Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

### Cálculos y fórmulas

- $Z_{th} = 1/15 = 0.066 \text{ p.u.}$  (La impedancia equivalente de Thevenin)
- La impedancia de 8% del transformador está dada por una base de 20 MVA por lo que para ponerla en base 100 MVA se hace la siguiente operación.

$$Z_{\text{base nueva}} = Z_{\text{base original}} \left( \frac{\text{MVA}_{\text{base nueva}}}{\text{MVA}_{\text{base original}}} \right)$$

$$Z_{\text{base nueva}} = 0.08 * \left( \frac{100}{20} \right)$$

- La impedancia de las líneas de distribución se puede encontrar utilizando la siguiente fórmula.

$$Z_{p.u.} = \frac{\text{Aohms}}{Z_{base}}$$

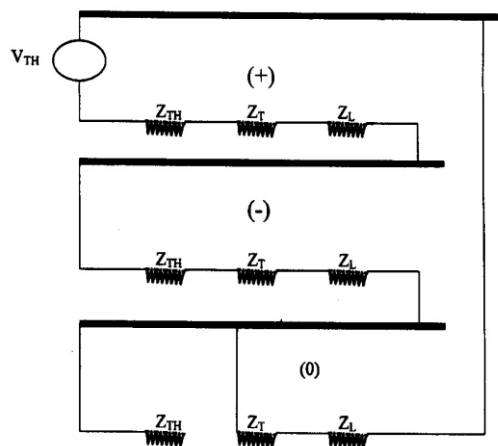
$$Z_{base} = \frac{kV^2}{MVA_{base}}$$

Sustituyendo valores para el ejemplo se tienen:

$$Z_{base} = \frac{13.8^2}{100}$$

Se utilizan mallas de secuencia para el cálculo de corriente de corto circuito de una línea a tierra. En la figura 9 se muestran las mallas de secuencia para una falla de línea a tierra de un corto circuito de distribución con neutral multiaterrizado por un transformador delta primario-estrella aterrizada en el secundario (como el del diagrama unifilar de la figura 8).

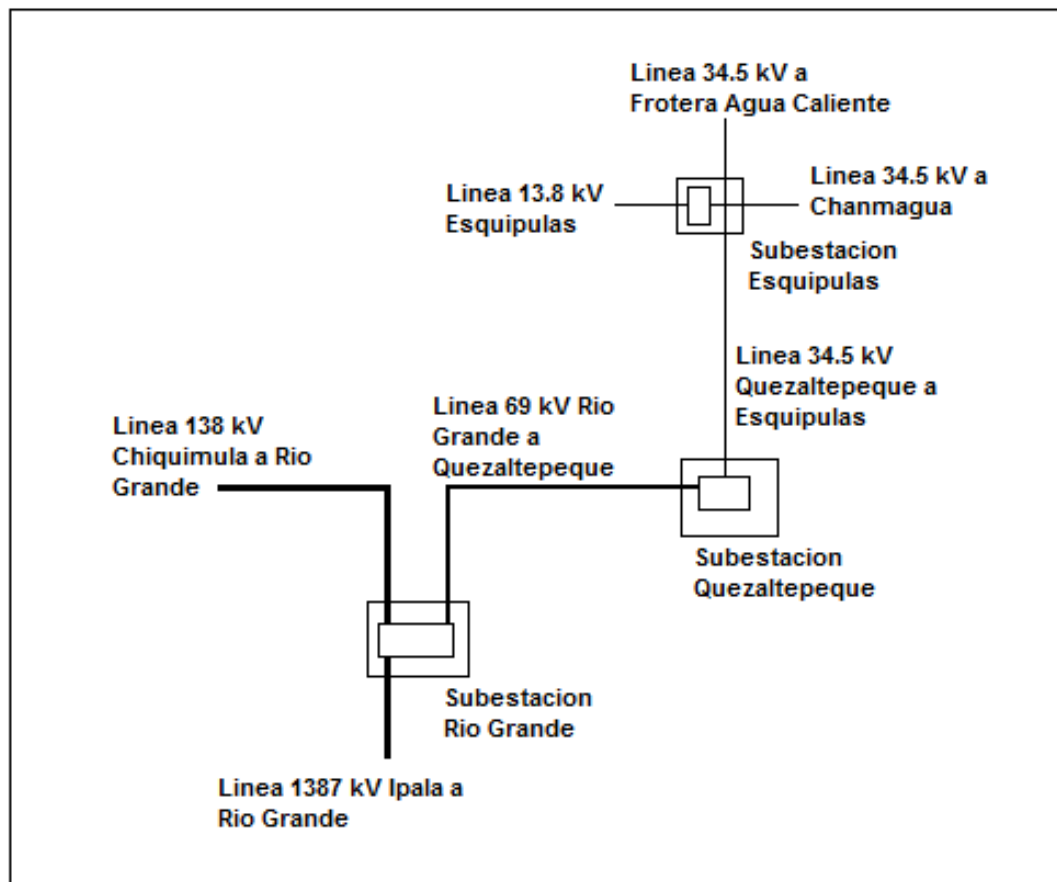
Figura 9. **Mallas de secuencia para falla de línea a tierra**



Fuente: MORALES, Juan. Elementos de protección de sistemas de potencia, p. 75

En la figura 10 se puede apreciar el circuito unifilar de la distribución hacia las comunidades de Bojorquez, Horno de Vides y Agua Zarca, de la aldea Atulapa, desde la subestación Chiquimula, pasando por la subestación Río Grande, luego a subestación Quezaltepeque, llegando a la subestación Esquipulas, de donde sale una línea monofásica de 13.8 kV. Desde aquí sale el ramal proyectado.

Figura 10. **Diagrama unifilar de línea de Quezaltepeque a Esquipulas**



Fuente: Oficina Regional del INDE Chiquimula.

Para este proyecto y tomando en cuenta los siguientes valores, se calculará la intensidad de corto circuito utilizando la siguiente fórmula:

$$I_{cc} = \sqrt{\frac{P}{Z}}$$

Donde:

$I_{cc}$  = corriente de corto circuito

P = potencia del transformador

Z = La impedancia del conductor

La impedancia del conductor se compone de una resistencia y una reactancia,  $Z = R + jX$ . Donde R viene dada por la resistencia del conductor y se obtiene con la fórmula siguiente:

$$R = \frac{\rho * L}{S}$$

Donde:

$\rho$  = Resistividad del conductor (  $\Omega \cdot m/mm^2$  )

L = Longitud del conductor (m)

S = Sección del conductor ( $mm^2$ )

Se calculó que los datos de resistencia de conductores por km, al pasarlos a ohmios por metro y tomando en cuenta una distancia de conductor secundario de 300 metros y una distancia de poste a contador igual a 40 metros, utilizando conductor calibre 1/0 en línea neutro para el cable secundario y conductor calibre 6 *triplex* para el cable de acometida y asumiendo un

cortocircuito en el tablero de distribución entre línea y neutro, se obtiene un valor de corriente de cortocircuito igual a: 14.78 amperios. Los datos aplicados son los siguientes:

- Potencia: se aplicará la potencia del transformador, 25 Kva.
- R conductor No. 1/0 fase = 0.604  $\Omega$ /km
- R conductor No. 1/0 neutro = 0.702  $\Omega$ /km
- Distancia de conductor secundario (6 postes distanciados a 60 metros) = 300 metros.
- Distancia de poste a contador residencial = 40 metros
- Fórmula de  $I_{cc}$ :  $I_{cc} = \sqrt{\frac{P}{Z}}$

De acuerdo con el dato obtenido, para la protección del circuito y principalmente del transformador, es necesario colocar un corta circuito que abra el circuito para liberar la falla de línea a tierra: este no deberá tener un valor mayor que 14.78 amperios.



### **3. DISEÑO DE PLANIFICACIÓN PARA LA INTRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS COMUNIDADES BOJORQUEZ, HORNO DE VIDES Y AGUA ZARCA DE LA ALDEA ATULAPA DEL MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA**

#### **3.1. Criterios de diseño para la selección de estructuras**

Los criterios de selección de estructuras que se utilizan para el soporte de conductores son de suma importancia, ya que estos postes se encargarán de mantener la línea a la altura correspondiente y con los ángulos que estos van adquiriendo según la topografía y distribución de usuarios, no solo servirán como soportes con tensiones hacia el suelo, sino existirán tensiones transversales en la punta de los mismo, lo que significa que se debe poner mucha atención a la selección de las mismas en el momento de diseñar la línea.

Los criterios de diseño para la selección óptima del uso de las estructuras son los siguientes:

- Fuerzas mecánicas sobre las estructuras
- Flechas del conductor y tensión de diseño
- Factores de sobrecarga
- Altura útil de las estructuras conforme a una flecha final

La tabla IX nos proporciona valores de las características mecánicas y dimensionales de los postes de concreto pretensados y centrifugados que actualmente tienen mayor aplicación, que se encuentran en el mercado nacional.

Tabla IX. **Características mecánicas y dimensionales de postes de concreto**

Longitud de poste (mts)	Clase		Diámetro en punto (mm).	Diámetro en base (mm)	Diámetro en base a nivel del terreno (mm)	Empotramientos (mts)	Altura útil (mts)
	Libras	Kilogramos					
18	1000	453	165	435	400.5	2.3	15.6
18	2000	907	210	480	445.5	2.3	15.6
18	3000	1360	255	525	490.5	2.3	15.6
18	4000	1814	300	570	535.5	2.3	15.6
18	6000	2721	390	660	625.5	2.3	15.6
21	2000	907	255	570	529.5	2.7	18.3
21	3000	1360	255	570	529.5	2.7	18.3
21	4000	1814	300	615	574.5	2.7	18.3
21	6000	2721	435	750	709.5	2.7	18.3
24	2000	907	255	615	570	3	21
24	3000	1360	300	660	615	3	21
24	4000	1814	300	660	615	3	21
24	6000	2721	390	750	705	3	21

Fuente: Catálogo de ventas productos atlas.



### 3.1.1. Fuerzas mecánicas sobre las estructuras

Las estructuras de soporte de las líneas tanto de media como de baja tensión, están sometidas a una gran tensión mecánica por lo que deberán tener suficiente resistencia mecánica, para soportar las fuerzas propias (peso de la estructura y herrajes), así como a las condiciones meteorológicas a que estén sometidas, según el lugar en que se ubiquen. Las fuerzas mecánicas que deben soportar las estructuras son las siguientes:

- Fuerzas transversales
- Fuerzas verticales
- Fuerzas longitudinales

La figura 11 muestra las variables y como las distintas fuerzas ocasionadas por el viento someten una estructura de una línea.

Donde:

$T_d$  = Tensión de diseño del conductor o hilo de guarda (kg)

$\alpha$  = Deflexión de la línea (grados)

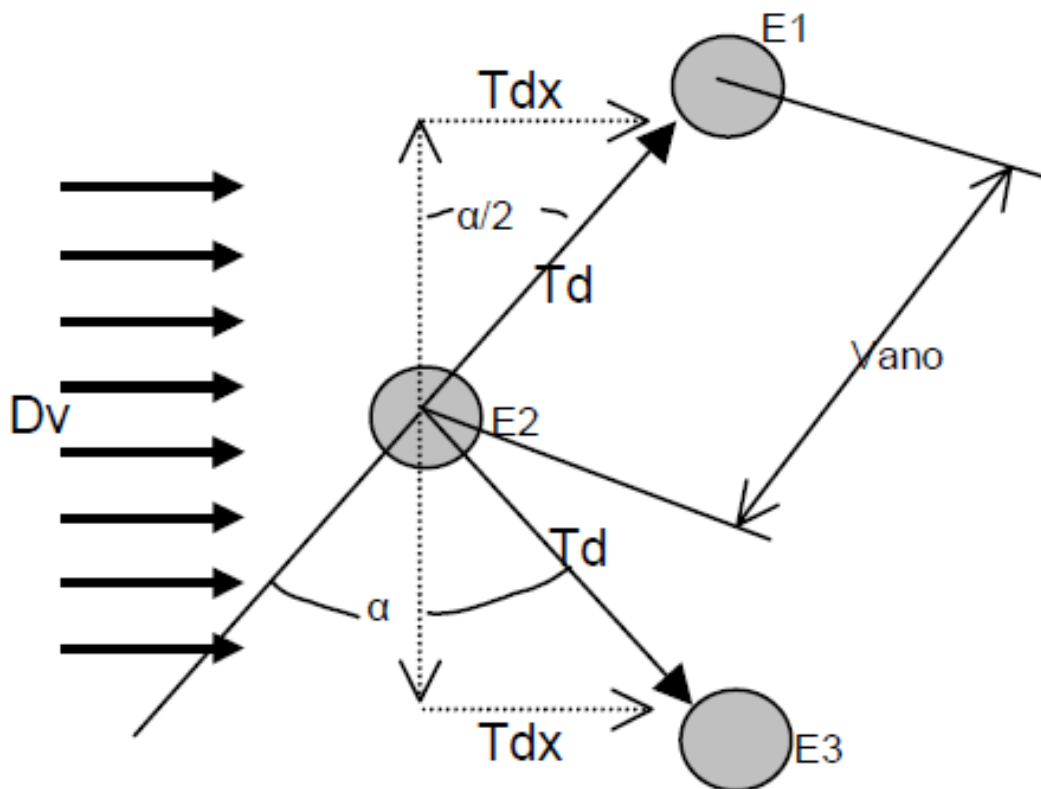
$D_v$  = Dirección del viento

$E$  = Vista en planta de poste de concreto

Para lograr establecer las fuerzas mínimas en el cálculo mecánico de estructuras se tomarán los siguientes datos los cuales se obtienen de las figuras 4 y 5, que afectan las estructuras en esta zona del país.

- Velocidad del viento = 80 Km/h
- Rango de temperatura = -10° a 50°C.

Figura 11. Vista en planta de la fuerza ejercida por el viento sobre las estructuras de una línea

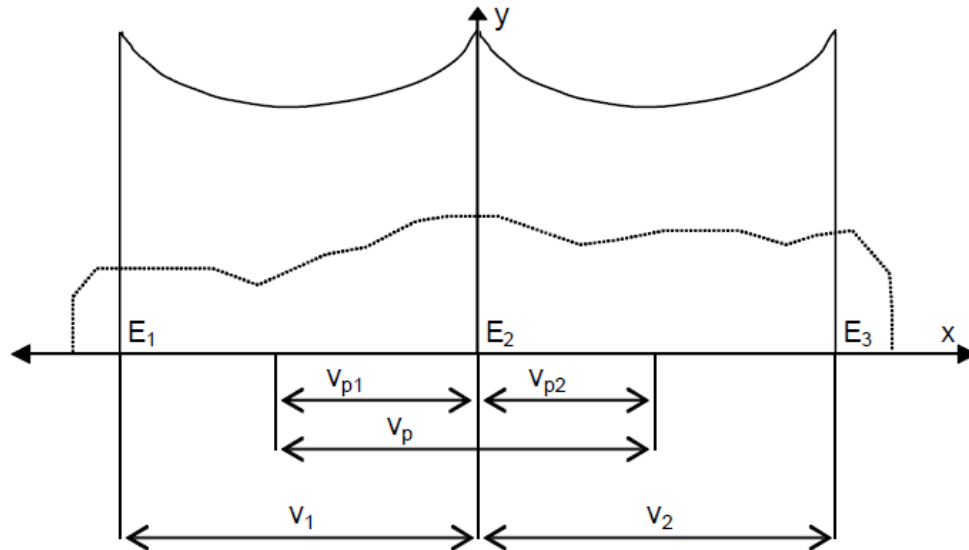


Fuente: BOJ DE LEÓN, Edgar Ubaldo. Evaluación técnico económica el diseño de líneas de transmisión de 69 kV utilizando estructuras compactas. p. 60.

### 3.1.1.1. Fuerzas transversales

Estas fuerzas transversales son provocadas por el viento, que sopla horizontalmente y en ángulo recto con dirección a la línea que se encuentra sobre las estructuras que cargan los conductores e hilos de guarda.

Figura 12. Vanos de viento y de peso



Fuente: BOJ DE LEÓN, Edgar Ubaldo. Evaluación técnico económica el diseño de líneas de transmisión de 69 kV utilizando estructuras compactas. p. 61.

### 3.1.1.1.1. Vano de viento

El vano de viento se define como la longitud de vano horizontal que se considera para la determinación del esfuerzo transversal, que transmiten a la estructura debido a la acción del viento sobre los conductores y cables. Esta longitud queda determinada por la semisuma de los dos vanos contiguos a la estructura, según se puede observar en la figura12.

$$V_v = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad 2.11$$

Donde:

$V_v$  = Longitud del vano de viento medio en la dirección longitudinal (m)

$V_1$  = Longitud del vano anterior a la estructura medio en la dirección longitudinal (m)

$V_2$  = Longitud del vano posterior a la estructura medio en la dirección longitudinal (m)

$V_p$  = Longitud del vano de peso de la estructura (m)

$V_{p1}$  = Longitud del vértice de la catenaria anterior a la estructura (m)

$V_{p2}$  = Longitud del vértice de la catenaria posterior a la estructura (m)

### **3.1.1.1.2. Fuerza debida al viento en los cables**

Esta se obtiene calculando primero la presión del viento ejercida sobre superficies de los conductores y cables sostenidas en las estructuras, por medio de la siguiente fórmula:

$$P_{vc} = 0.00482V^2$$

Donde:

$P_{vc}$  = Presión del viento ( $\text{kg/m}^2$ ) sobre los cable o alambres

$V$  = Velocidad del viento de diseño (km/h)

El viento que actúa sobre los conductores e hilos de guarda, ejerce una fuerza transversal sobre la estructura, que es igual al producto del vano de viento por la carga unitaria debida al viento por carga unitaria, el producto de la presión del viento por el área unitaria proyectada del conductor e hilos de guarda se define en la siguiente ecuación:

$$F_{tc} = V_v * P_v * \emptyset_c$$

Donde:

$F_{tc}$  = Fuerza transversal debida al viento sobre los conductores o cables de guarda. (kg)

$V_v$  = Vano de viento (m)

$P_v$  = Presión del viento ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) sobre cables o alambres

$\emptyset_c$  = Diámetro del conductor o hilo de guarda (m)

### **3.1.1.1.3. Fuerza debida al viento en el poste**

Se debe considerar que la ráfaga de viento cubre totalmente la altura útil del poste, aplicando un factor de 1.3 a la velocidad de diseño. Con base en lo anterior, la ecuación aplicable para presión del viento es:

$$P_{ve} = 0.00815V^2$$

Donde:

$P_{ve}$  = Presión del viento sobre la altura útil del poste ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

$V$  = Velocidad del viento de diseño (km/h)

La fuerza transversal sobre el poste de concreto, que se debe al viento que actúa sobre el propio poste debe calcularse considerando su área proyectada, perpendicular a la dirección del viento.

Para el cálculo del área proyectada se considera el poste como una superficie trapezoidal.

$$F_{te} = 0.5 (\phi_{pp} * \phi_{bntn}) * H_{up} * P_{ve}$$

Donde:

$F_{te}$  = Fuerza transversal debida al viento sobre el poste de concreto (kg)

$\phi_{pp}$  = Diámetro de la punta del poste (m)

$\phi_{bntn}$  = Diámetro de la base del poste a la altura del nivel del terreno (m)

$H_{up}$  = Altura útil del poste (m)

$P_{ve}$  = Presión del viento sobre el poste (kg/m<sup>2</sup>)

#### **3.1.1.1.4. Fuerza debida a la deflexión de la línea**

Cuando la línea cambia de dirección, la carga transversal resultante sobre la estructura, se debe considerar igual al vector suma de: la resultante de las componentes transversales de las tensiones mecánicas máximas en los conductores e hilos de guarda, originada por el cambio de dirección de la línea. Refiriéndose a la figura 11, se tiene:

$$F_{tf} = 2 * Td * \text{sen}(a/2)$$

Donde:

$F_{tf}$  = Fuerza transversal debido a la deflexión de la línea (kg)

$Td$  = Tensión de diseño aplicada al conductor o hilo de guarda (kg)

Esta tensión es un porcentaje de la tensión de ruptura del conductor  
 $a$  = Deflexión de la línea (grados)

### **3.1.1.2. Fuerzas verticales**

La carga vertical sobre cimientos, postes, aisladores y accesorios de sujeción de los conductores e hilos de guarda, está constituida por el peso propio de la estructura soportadora, más el de los conductores, hilos de guarda y herraje en general, teniendo en cuenta los efectos que pueden resultar por diferencias de nivel entre los soportes de los mismos.

#### **3.1.1.2.1. Vano de peso**

Las fuerzas verticales que producen el peso de los conductores e hilos de guardas sobre las estructuras, se puede calcular mediante la teoría del vano de peso. Se define el vano de peso, como la distancia horizontal entre los puntos más bajos de las catenarias adyacentes a las estructuras consideradas (ver figura12).

$$V_p = V_{p1} + V_{p2}$$

Donde:

$V_p$  = Longitud del vano (m)

$V_{p1}$  = Longitud, del vértice de la catenaria anterior a la estructura (m)

$V_{p2}$  = Longitud del vértice de la catenaria posterior a la estructura (m)

De este modo, la carga vertical por conductor o hilo de guarda, es igual al vano de peso, multiplicado por el peso por unidad de longitud del cable

correspondiente. Para el caso de la línea en diseño, en la cual se considera una distribución de estructuras de igual altura, situadas a la misma separación, la longitud del vano de peso será igual a la del vano de viento para la misma estructura.

### **3.1.1.3. Fuerzas longitudinales**

Las fuerzas longitudinales se deben a los componentes de las tensiones mecánicas máximas de los conductores o cables, que se producen por el desequilibrio de uno a otro lado del soporte, consecuencia del cambio de tensión mecánica, remate o ruptura de conductores en una línea. En tramos rectos de línea, donde no cambia la tensión mecánica de los conductores e hilos de guarda de uno a otro lado de los soportes, no es necesario considerar las tensiones mecánicas por conductores, excepto en el caso de estructuras que rematan en tangente.

La fuerza longitudinal, que se debe a la supuesta ruptura de los conductores o hilos de guarda en las estructuras de remate o deflexión, será considerada con base en la tensión de diseño aplicada a los conductores o cables.

### **3.1.2. Flecha y tensión mecánica del conductor**

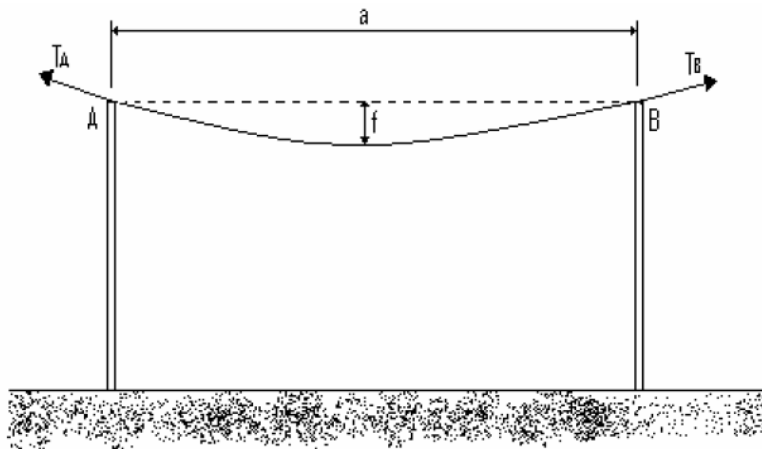
En líneas aéreas es necesario el conocimiento de las tensiones mecánicas que se aplicaran al conductor para determinar las limitaciones mecánicas de las estructuras.



### 3.1.2.1. Planteamiento de la ecuación de la flecha

Un conductor de peso uniforme. Sujeto entre dos apoyos por los puntos A y B situados a la misma altura, forma una curva llamada catenaria. La distancia  $f$  entre el punto más bajo situado en el centro de la curva y la recta AB, que une los apoyos, recibe el nombre de flecha. Se llama vano a la distancia  $a$  entre los dos puntos de amarre A y B.

Figura 13. Flecha de un conductor sostenido por dos estructuras



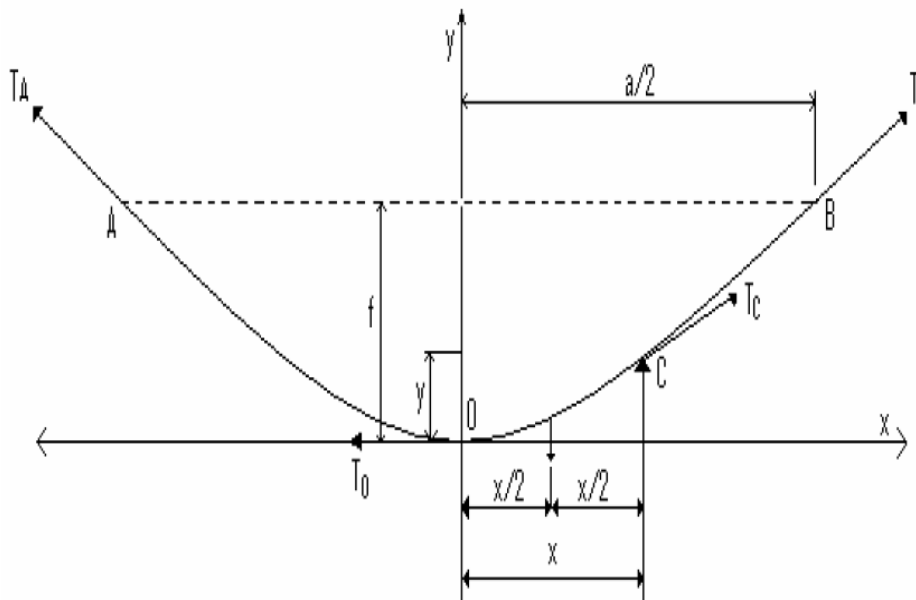
Fuente: BOJ DE LEÓN, Edgar Ubaldo. Evaluación técnico económica el diseño de líneas de transmisión de 69 kV utilizando estructuras compactas. p. 67.

Los postes deberán soportar las tensiones  $T_A$  y  $T_B$ , que ejerce el conductor en los puntos de amarre. La magnitud de la tensión  $T = T_A = T_B$  dependerá de la longitud del vano, del peso del conductor, de la temperatura y de las condiciones atmosféricas.

Para vanos de hasta unos 500 metros, se puede equiparar la forma de la catenaria a la de una parábola, que ahorra complejos cálculos matemáticos, y se obtienen, sin embargo, una exactitud más que suficiente.

Se calcula a continuación la relación que existe entre la flecha y la tensión. Para esto, se representa el conductor de un vano centrado en unos ejes de coordenadas, como lo muestra la figura 14.

Figura 14. **Relación entre la flecha y tensión de un conductor**



Fuente: BOJ DE LEÓN, Edgar Ubaldo. Evaluación técnico económica el diseño de líneas de transmisión de 69 kV utilizando estructuras compactas. p. 68.

Se considerará un trozo de cable OC, que tendrá un peso propio PL aplicado en el punto medio y estará sometido a las tensiones TO y TC aplicadas en sus extremos.

Tomando momentos, respecto al punto C, se tendrá:

$$P_{L\frac{x}{2}} = T_0 y$$

Por lo tanto, el valor de  $y$  será:

$$y = \frac{x P_L}{2 T_0}$$

Designando  $P$  al peso por unidad de longitud del conductor, el peso total del conductor en el tramo  $OC$ , que se ha llamado  $P_L$ , será igual al peso por unidad de longitud por la longitud del conductor, cometiendo un pequeño error que se denominará  $x$ . Por lo tanto, admitiendo que:

$$P_L = P * x$$

Se sustituye esta expresión en la fórmula anterior del valor de  $y$  resulta:

$$y = \frac{x^2 P}{2 T_0}$$

Si ahora se considerará el punto  $A$ , correspondiente al amarre del cable en vez del punto  $C$ , se tendrá:

$$f = \frac{P a^2}{8 T_0}$$

Se puede despejar el valor de la tensión  $T_0$  y se tendrá que:

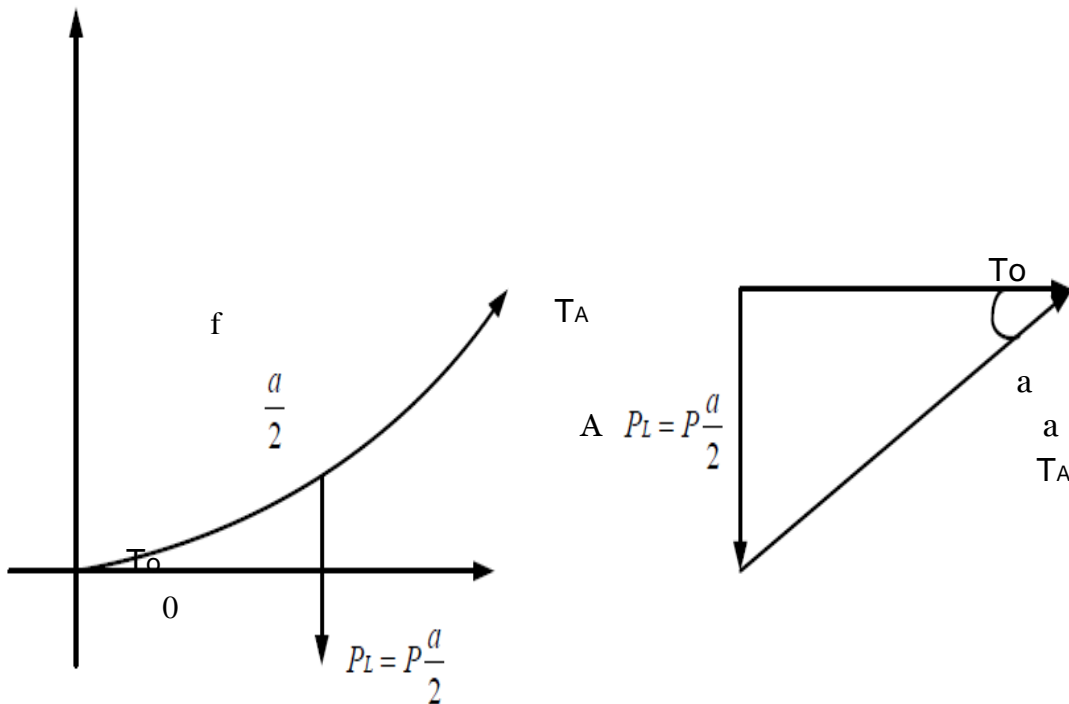
$$T_0 = \frac{P a^2}{8 f}$$

Las dos ecuaciones anteriores relacionan la flecha en función de la tensión  $T_0$ , del peso unitario  $P$  y de la longitud del vano  $a$ . Comparando esta ecuación de la parábola con la de la catenaria, se tiene:

$$f = \frac{T_0}{P} * \left( \cosh \frac{aP}{2T_0} - 1 \right)$$

Se podrá observar la complejidad de ésta, y como se demostrará más adelante, los resultados serán prácticamente iguales. Interesa trabajar con la tensión TA, en lugar de la empleada hasta ahora TO. Se observa el triángulo de fuerzas compuesto por TO, TA y PL en la figura 15.

Figura 15. **Representación de tensiones mecánicas en un cable conductor**



Fuente: BOJ DE LEÓN, Edgar Ubaldo. Evaluación técnico económica el diseño de líneas de transmisión de 69 kV utilizando estructuras compactas. p. 70.

### 3.1.2.1.1. Comprobación entre la catenaria y la parábola

Para este caso donde el vano se encuentra entre los rangos de 0 a 200m la demostración entre la parábola y la catenaria se muestra en la tabla X para dos vanos que son 100 y 200m y con una tensión en el conductor según características del proyecto eléctrico en construcción.

Tabla X. **Porcentaje de error entre el cálculo de la catenaria y la parábola**

Catenaria-Parábola			
Vano	Catenaria	Parábola	% Error
100	0.551	0.551	0
200	2.204	2.204	0.009

Fuente: BOJ DE LEÓN, Edgar Ubaldo. Evaluación técnico económica el diseño de líneas de transmisión de 69 kV utilizando estructuras compactas. p. 71.

### 3.2. Principales normas aplicadas al diseño de la red

Actualmente en nuestro país se ha normalizado la aplicación de la Norma Caribe en la construcción de proyectos de servicios eléctricos, principalmente en el interior del país, ya que la empresa Energuate, se encarga de la distribución de la energía eléctrica a pequeños y medianos consumidores. En la redacción del presente proyecto se han tenido en cuenta en lo aplicable a la siguiente documentación técnica.

- Normalización de conductores para redes de distribución aérea (versión 3, enero 2000).
- Criterios de arquitectura de red (versión 1, marzo 2000)
- Criterios de arquitectura de red – área Caribe
- Normas técnicas del diseño y operación de las instalaciones de distribución (NTDOID), Guatemala. Edición del 27-10-1999.
- Normas técnicas del servicio de distribución (NTSD) - Guatemala. Edición de junio de 1998.
- Manual de construcción del sistema de distribución de energía eléctrica (volumen 1), Panamá.
- Normas de construcción aérea. Conductores 1/0 AWG, AAC y ACSR 13.2 y 34.5 KV (volumen 2), Panamá. edición de noviembre de 1994.
- Normas para proyectos de electrificación rural 34.5 KV (volumen 5) Panamá. Revisión 1998.
- Normas de distribución (volumen II de IV) República Dominicana, edición 15/03/97.
- Normas de sistemas aéreos de distribución. República Dominicana
- *National Electrical Safety Code (NESC)*, Estados Unidos
- Normas ANSI.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas. Subestaciones y centros de transformación.
- Reglamento técnico de líneas eléctricas aéreas de alta tensión (RTLAAT)
- Reglamento electrotécnico para baja tensión (España)

### **3.2.1. Distribución primaria**

La distribución primaria se encuentra en la línea trifásica, bifásica o monofásica en media tensión, que parte desde un ramal de la subestación que

constituye el eje eléctrico de una zona geográfica de distribución. En algunos casos se cierra con otra línea eje de otra subestación próxima o con otra línea eje de la misma subestación.

En las redes de distribución se toma como línea principal, donde parten las líneas derivadas distribuidoras a consumidores y con la menor cantidad de derivaciones hacia transformadores de distribución independientes.

Para la selección de la línea troncal en una red de distribución es conveniente tomar en cuenta ciertos criterios, con el objeto de definir cuál debe ser la línea principal o troncal, siendo los siguientes:

- La línea que tiene mayor carga
- La línea que circula paralela a la carretera
- La línea que enlaza con otra proveniente de la misma o de otra subestación.

La carga máxima de diseño de una línea principal no superara los 400 kVA. Y la carga máxima de diseño de una salida de subestación no superará los 10,000 KVA. Para este proyecto se utilizará una línea con voltaje primario de 13.2/7.6 KVA

### **3.2.2. Distribución secundaria**

Estas líneas son aquellas que parten de una línea principal y alimentan a subderivadas y/o racimos. Serán siempre abiertas, no teniendo ninguna otra posibilidad de alimentación desde otras líneas secundarias o principales. Las líneas subderivadas tienen su origen en líneas derivadas y alimentan a racimos.

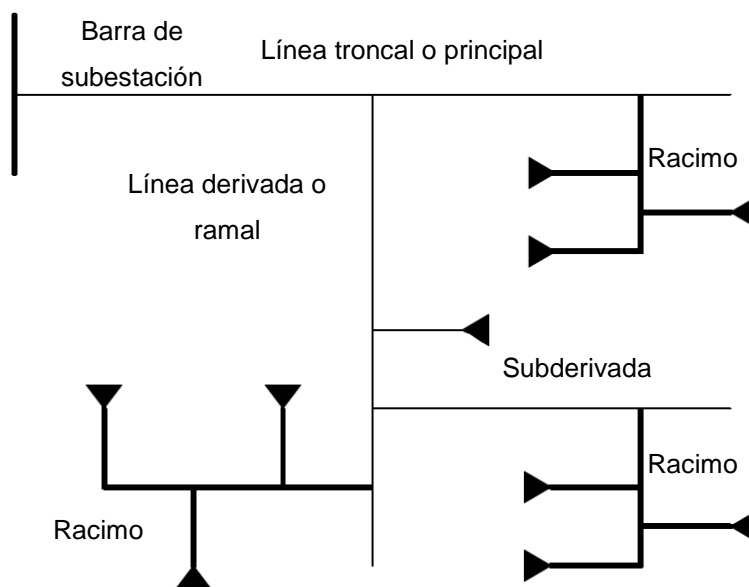
Estas líneas pueden ser trifásicas o monofásicas. Y la potencia instalada por fase en las derivadas monofásicas no podrá superar el 5% de la potencia total instalada en el circuito completo. Y los racimos son agrupamientos de transformadores monofásicos de distribución que comparten un elemento de protección y maniobra.

Las limitaciones del racimo serán las siguientes:

- Potencia máxima instalada 105 kilovatioamperios
- Número máximo de transformadores 9
- Longitud máxima de línea monofásica (desde el elemento de corte a C.T. más alejado) 12 kilómetros.

La figura 16 muestra la arquitectura de la red de distribución.

Figura 16. **Línea derivada y subderivada**



Fuente: ENERGUATE. Curso de ejecución de obras y consideraciones generales, p. 7.



### **3.3. Levantamiento topográfico**

Consiste en hacer una topografía de un lugar, es decir, llevar a cabo la descripción de un terreno en concreto. Mediante el levantamiento topográfico, un topógrafo realiza un escrutinio de una superficie, incluyendo tanto las características naturales de esa superficie como las que haya hecho el ser humano.

#### **3.3.1. Toma de puntos de ubicación mediante GPS**

Según las visitas de campo que se hicieron a las comunidades de Bojorquez, Horno de Vides y Agua Zarca de la aldea Atulapa del municipio de Esquipulas, se procedió a la toma de puntos con equipo GPS para la ubicación de estructuras tanto en media tensión como en baja tensión, para tal efecto se estacó cada punto para un mejor control, el cual se identifica cada punto como lo muestran las tablas en el apéndice A.

#### **3.3.2. Diseño de mapa**

Se elaboraron los planos correspondientes al diseño de la red de distribución de las comunidades de Bojorquez, Horno de Vides y Agua Zarca de la aldea Atulapa del municipio de Esquipulas los cuales se encuentran en el apéndice E de este documento.

### **3.4. Ingeniería de la Red**

Por medio de esta se permitirá asegurar que las redes funcionen correctamente, junto con los equipos técnicos.

### **3.4.1. Generalidades**

Los estudios para el diseño de implementación del servicio eléctrico a las comunidades beneficiadas con el presente proyecto tienen como propósito establecer y justificar las condiciones comunes que debe cumplir cualquier obra que corresponda a la introducción de energía eléctrica, para lo cual se deben incluir en cada proyecto, las particularidades específicas del mismo, tales como el plano del diseño, cantidad de usuarios, potencia a requerir, cronograma de avance físico y financiero, cálculo de tierras y presupuesto.

Por otra parte, el presente documento servirá de base genérica para la tramitación oficial de cada obra, así como norma particular de la empresa que tendrá a cargo la ejecución del proyecto u otros proyectos de la misma índole, en cualquier área del país.

### **3.4.2. Carga estimada**

La carga a estimar para el proyecto de cada comunidad se determinará con base al consumo de los usuarios de la red actual, tomando como referencia los rangos de consumo por usuario que tiene Energuate, tomando en cuenta los parámetros siguientes:

Márgenes de tolerancia de caída de tensión

- Red urbana baja tensión más acometida 2.5%
- Solo acometida (red urbana y rural) 0.8%
- Red rural baja tensión más acometida 5%

En zona rural de nueva electrificación se podrá admitir hasta un 10% de caída de tensión total, incluyendo la acometida y un 1.6% de caída de tensión en acometida, siempre que:

- El transformador tenga tomas de regulación de +5% y -2.5%
- La caída de tensión máxima admisible sea menor o igual que la diferencia entre la tensión nominal del transformador y la tensión mínima admitida en el punto de entrega de energía al usuario.
- Niveles de potencia en la red rural
- Nivel de electrificación
- Bajo 0.9 Kw
- Medio 1.6 kw
- Alto 2.4 Kw

Para abonados con un grado de electrificación clasificado como cliente singular (mayor de 6 Kw) para el cálculo se considera las potencias reales para luego determinar la demanda máxima estimada, esto requerirá que el usuario sea candidato a requerir un transformador para el servicio exclusivo. Asimismo las áreas suburbanas de nivel bajo se considerarán como rurales. Para calcular la previsión de potencia a demandar en un tramo de red eléctrica de baja tensión se aplicará un coeficiente de simultaneidad a la potencia máxima prevista por usuario según el grado de electrificación correspondiente.

Existen diferentes formas para determinar la demanda que tendrá un usuario en particular. Una forma sencilla de obtener estos datos es con la utilización del coeficiente de simultaneidad que proporciona los valores en función al número de suministros que se incluirán en un sector de la red de distribución eléctrica, esto se obtiene según la tabla XI.

Tabla XI. **Coefficiente de simultaneidad en función de usuarios**

Coefficiente de simultaneidad				
Número de suministros	1	2 a 4	5 a 15	>15
Ns	1	0.8	0.6	0.4

Fuente: Unión Fenosa Internacional S.A. Curso de ejecución de obras y consideraciones generales. p. 50.

Para el cálculo de la potencia de un número de abonados se realizará utilizando la siguiente ecuación de cálculo, considerando que será para abonados mayores de 15.

$$P_n = P_{15} + (n-15) \cdot P_1 \cdot N_s \quad 2.28$$

Para las comunidades que se les realizó el estudio, la tabla XII proporciona los valores de potencia a requerir, considerando una potencia de demanda de 1.6 kW por usuario.

Tabla XII. **Potencia a requerir para las comunidades en estudio**

Comunidad	No. de suministros n	Coefficiente de simultaneidad Ns	Potencia a Requerir Pn
Bojorquez	<b>57</b>	<b>0.4</b>	<b>83.88</b>
Horno de Vides			
Agua Zarca de la aldea Atulapa			

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.3. Carga proyectada a 10 años

En el momento de hacer evaluación de un proyecto de inversión, el principal objetivo es determinar su rentabilidad económica financiera y social, de tal forma que pueda cubrir las necesidades en forma eficiente, segura y rentable, asignando los recursos económicos con que se cuenta, a la mejor alternativa. Lo anterior se explica, entre otras cosas, por el hecho de que para definir todos los egresos se deberá previamente proyectar la situación contable sobre la cual se calcularán éstos.

Se hace necesario señalar que el costo de oportunidad es imprescindible para tomar la decisión adecuada. Todos los costos deben considerarse en términos reales considerando porcentajes de incrementos que pueda sufrir la ejecución del proyecto. Dependiendo del tipo de proyecto que se evalúa, deberá trabajarse con costos totales proyectados a futuro.

La carga que se considera será la que se encuentre dentro de 10 años después de entrar en funcionamiento el presente proyecto será:

$$P_n \text{ kW } (1.06^{10}) = P_{10}$$

La potencia proyectada para 10 años (P10), en base al cálculo anterior se prevé un crecimiento del 80%, según se puede observar en el siguiente dato:

$$83.88 \text{ kW}(1.06^{10}) = 150.22 \text{ kW}$$

#### **3.4.4. Densidad de carga**

La densidad de carga se determina como una relación de la carga demandada por los abonados con el área en Km<sup>2</sup>o m<sup>2</sup>, considerándose para estos casos un área territorial de 50 m<sup>2</sup> por usuario.

Para este proyecto en el cual se encuentran 57 usuarios que conforman una carga de 105 KVA en una extensión territorial de 57 por 50 m<sup>2</sup> que da un área igual a 2,850 m<sup>2</sup>, se tendrá una densidad de carga de  $105 \text{ KVA} / 2,850 \text{ m}^2 = 0.0368 \text{ KVA/m}^2 = 36.8 \text{ VA/m}^2$

#### **3.4.5. Selección del nivel de tensión de distribución**

Los criterios de diseño tienen como fin establecer las reglas y criterios para el análisis y ordenamiento de la explotación de la red de baja tensión (BT) actual y de las redes que se planifiquen en el futuro. Los criterios de diseño de redes de BT aquí descritos se aplicarán a todas las instalaciones comprendidas entre los bornes de BT de los transformadores de la red de distribución general y la protección de la acometida.

Están incluidos los elementos frontera con las redes de MT (transformadores de la red general de distribución) y excluidos los elementos frontera con las instalaciones del cliente (los medidores de energía de los clientes).

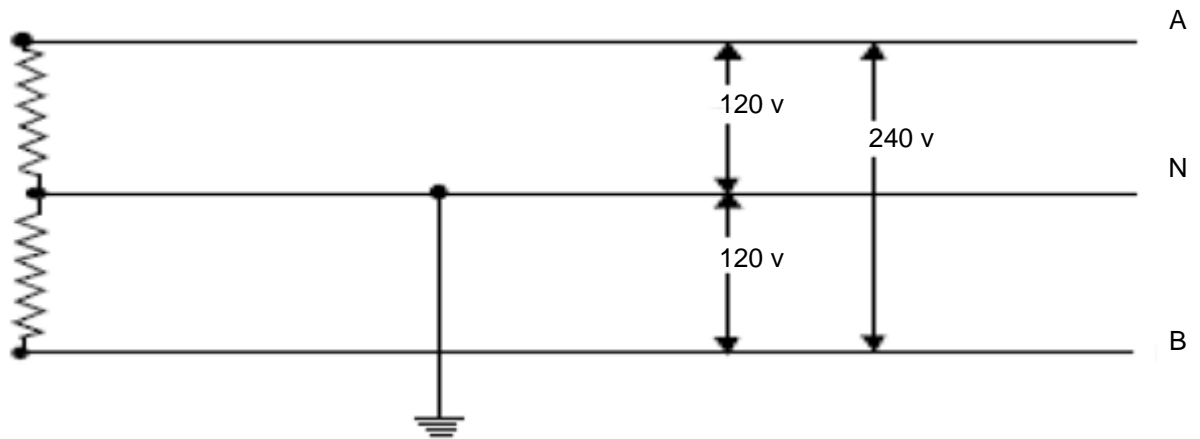
Los siguientes elementos forman parte de la red de baja tensión:

- Transformadores de distribución
- Red de distribución de BT

- Acometidas

Para las comunidades mencionadas anteriormente, se ha diseñado las redes de baja tensión para el suministro de clientes residenciales, comerciales e industriales, definiendo estas redes de tipo monofásico de baja tensión con línea de tres hilos y tensiones nominales de 120/240 voltios. Este sistema se puede visualizar claramente en la figura 17.

Figura 17. **Sistema monofásico de 3 hilos con tensión 120/240 voltios**



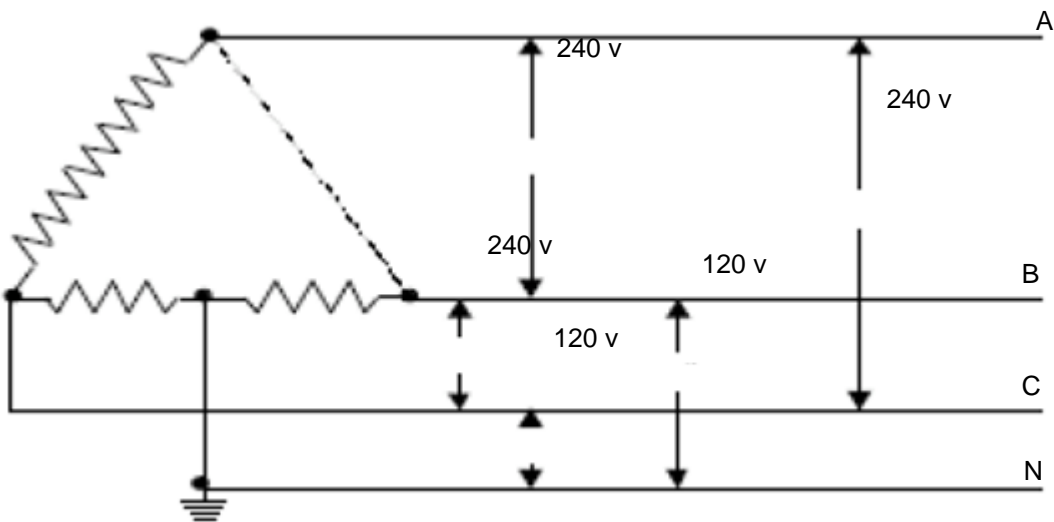
Fuente: Unión Fenosa Internacional S.A. Curso de ejecución de obras y consideraciones generales. p. 32.

Este tipo de red se alimenta únicamente con un transformador autoprotegido, monofásico tipo poste. La red de distribución alimentada por el citado transformador puede conectarse mediante un puente simple o un puente doble, dependiendo de si la red está a ambos lados del transformador o a un lado de éste. Esta modalidad se aplicará a redes tanto urbanas como rurales.

En redes trifásicas de cuatro hilos, las tensiones 120, 240 y 208 voltios alimentada mediante un banco con dos transformadores interconectados en

triángulo (delta) abierto, según el esquema siguiente que se muestra en la figura 18.

Figura 18. **Sistema trifásico a 4 hilos con tensión 120/240 voltios**



Fuente: Unión Fenosa Internacional S.A. Curso de ejecución de obras y consideraciones generales. p. 33.

La red de distribución de B.T. alimentada por este banco de transformadores puede conectarse mediante un puente simple o un puente doble, dependiendo de las necesidades de la red.

### 3.4.6. Selección de conductores

Los conductores que se proyectaron para utilizar en la electrificación de las comunidades en mención en este documento serán triplex # 2 trenzado, con aislante de cloruro de polivinilo PVC en sus dos fases y neutro, incluyendo alma de acero en el neutro, este conductor es el actualmente utilizado en un sistema monofásico de 120/240 voltios, cumpliendo con las especificaciones de



la Norma Caribe. En tabla XIII se pueden observar las principales características de los conductores utilizados en redes de baja tensión y acometidas.

Tabla XIII. **Características de conductores para baja tensión**

Conductores de uso en líneas y acometidas	
Tríplex #2	Trenzado; Fases: #2 AAC - Neutro: #2 AAAC
Tríplex 1/0	Trenzado; Fases: 1/0 AAC - Neutro: 1/0 AAAC
Cuádruplex 1/0	Trenzado; Fases: 1/0 AAC - Neutro: 1/0 AAAC
Tríplex 4/0	Trenzado; Fases: 4/0 AAC - Neutro: 4/0 AAAC
Cuádruplex 4/0	Trenzado; Fases: 4/0 AAC - Neutro: 4/0 AAAC
Cuádruplex 336,4	Trenzado; Fases: 336,4 AAC - Neutro: 4/0 AAAC

Fuente: Unión Fenosa Internacional S.A. Curso de ejecución de obras y consideraciones generales, características de conductores para baja tensión. p. 7.

Como las comunidades que están siendo objeto de estudio se catalogan como rurales, siendo los usuarios consumidores pequeños, las acometidas que se utilizarán serán conductores dúplex # 6. Las principales características de los conductores utilizados en acometidas se pueden observar en las tablas XIV, XV y XVI.

Tabla XIV. **Selección de conductores para acometidas**

Conductores de uso exclusivo en acometidas	
Conductor	Descripción
Concéntrico 2 x #8	Concéntrico; Fase y Neutro #8 Cu
Concéntrico 3 x #8	Concéntrico; Fases y Neutro #8 Cu
Concéntrico 2 x #6	Concéntrico; Fase y Neutro #6 Cu
Concéntrico 3 x #6	Concéntrico; Fasea y Neutro #6 Cu
Concéntrico 4 x #6	Concéntrico; Fases y Neutro #6 Cu
Concéntrico 3 x #4	Concéntrico; Fases y Neutro #4 Cu
Concéntrico 4 x #4	Concéntrico; Fases y Neutro #4 Cu

Fuente: Unión Fenosa Internacional S.A. Curso de ejecución de obras y consideraciones generales, características de conductores para baja tensión. p. 6.

Tabla XV. **Características de conductores de uso exclusivo en acometidas de abonado**

Características de los conductores de uso exclusivo en acometidas							
Conductor	Conc. 2 x #8	Conc. 3 x #8	Conc. 2 x #6	Conc. 3 x #6	Conc. 4 x #6	Conc. 3 x #4	Conc. 4 x #4
Sección de la fase (mm <sup>2</sup> )	8,37	8,37	13,30	13,30	13,30	21,15	21,15
Sección del neutro (mm <sup>2</sup> )	8,32	8,32	13,21	13,21	13,21	21,12	21,12
Composición fase (n° alam. x $\Phi$ en mm)	7 x 1,23	7 x 1,23	7 x 1,55	7 x 1,55	7 x 1,55	7 x 1,96	7 x 1,96
Aislamiento (1)	Polietileno reticulado y PVC						
Diámetro de haz (mm) (2)	≈ 9,6	≈ 10,0 x 16,0	≈ 11,6	≈ 11,2 x 18,1	≈ 19,1	≈ 12,7 x 20,8	≈ 22,0
Peso del haz (daN/m)	≤ 0,225	≤ 0,350	≤ 0,325	≤ 0,475	≤ 0,625	≤ 0,700	≤ 0,900
Resistencia eléctrica en C.C. a 20 °C (Ω/km)	≤ 2,275	≤ 2,275	≤ 1,431	≤ 1,431	≤ 1,431	≤ 0,900	≤ 0,900
Resistencia eléctrica en C.C. a 50 °C (Ω/km)	≤ 2,543	≤ 2,543	≤ 1,600	≤ 1,600	≤ 1,600	≤ 1,006	≤ 1,006
Intensidad máxima admisible (A) (3)	55	55	75	75	75	95	95

(1) En el caso de conductores que no posean una sección circular, se indican las dimensiones que definen la sección del conductor.

Fuente: Unión Fenosa Internacional S.A. Curso de ejecución de obras y consideraciones generales, características de conductores para baja tensión. p. 7.

Tabla XVI. **Características de conductores de uso en líneas y acometidas**

Características de los conductores de uso exclusivo en acometidas						
Conductor	Tríplex #2	Tríplex 1/0	Cuádruplex 1/0	Tríplex 4/0	Cuádruplex 4/0	Cuádruplex 336,4
Sección de la fase (mm <sup>2</sup> )	33,62	53,51	53,51	107,20	107,20	170,45
Sección del neutro (mm <sup>2</sup> )	33,62	53,51	53,51	107,20	107,20	107,20
Composición fase (n° alam. x Φ en mm)	7 x 2,47	7 x 3,12	7 x 3,12	13 x 2,9 + 6x 2,12	13 x 2,9 + 6x 2,12	13 x 3,66 + 6x 2,68
Composición fase (n° alam. x Φ en mm)	7 x 2,47	7 x 3,12	7 x 3,12	7 x 4,42	7 x 4,42	7 x 4,42
Aislamiento	Polietileno reticulado					
Diámetro de haz (mm)	21	27	33	35	40	49
Peso del haz (daN/m)	≤ 0,351	≤ 0,631	≤ 0,870	≤ 1,189	≤ 1,570	≤ 2,257
Carga de Rotura por conductor (daN) (1)	1 063	1 700	1 700	3 264	3 264	3 264
Resistencia eléctrica en C.C. a 20 °C (Ω/km) (2)	F: ≤ 0,860 N: ≤ 0,999	F: ≤ 0,539 N: ≤ 0,626	F: ≤ 0,539 N: ≤ 0,626	F: ≤ 0,269 N: ≤ 0,312	F: ≤ 0,269 N: ≤ 0,312	F: ≤ 0,169 N: ≤ 0,312
Resistencia eléctrica en C.C. a 50 °C (Ω/km)	F: ≤ 0,964 N: ≤ 1,120	F: ≤ 0,604 N: ≤ 0,702	F: ≤ 0,604 N: ≤ 0,702	F: ≤ 0,302 N: ≤ 0,350	F: ≤ 0,302 N: ≤ 0,350	F: ≤ 0,189 N: ≤ 0,350
Intensidad máxima admisible (A) (3)	150	205	180	300	275	370

Continuación de la tabla XVI.

- (1) Cuando se cita la carga de rotura por conductor, se indica la carga de rotura del neutro de AAAC.
- (2) Valores calculados en las siguientes condiciones: T. Ambiente: 25 °C. T. Conductor: 75 °C. Velocidad del viento: 0.6 m/s y sin radiación

Fuente: Unión Fenosa Internacional S.A. Curso de ejecución de obras y consideraciones generales, características de conductores para baja tensión. p. 7.

### **3.4.7. Caídas de tensión**

En el reparto de caídas de tensión a lo largo de las redes primaria y secundaria, con el fin de garantizar que todos los clientes conectados a las mismas estén incluidos dentro de los márgenes de tolerancia admisibles, por tal razón se estandarizan los siguientes márgenes:

- Red urbana baja tensión más acometida: 2,5 %
- Sólo acometida (red urbana y rural): 0,8 %
- Red rural baja tensión más acometida: 5,0 %

Para electrificación en zona rural de nueva electrificación se podrá admitir hasta un 10 % de caída de tensión total, incluyendo la acometida.

### **3.4.8. Cálculo de protección de la red de distribución**

La protección principal de las redes de media tensión estará confiada al interruptor automático de cabecera de línea. En redes aéreas urbanas y rurales, el interruptor de cabecera estará dotado de reenganche automático con posibilidad de ciclo (R+2L).

En redes subterráneas en ningún caso se instalará reenganche. En redes aéreas rurales o mixtas podrán instalarse reconectores intermedios en aquellos casos en que bien por segmentación de mercado, bien por longitud de línea se justifique.

En los puntos de la red en los que se prevea una potencia de cortocircuito superior a la capacidad del fusible de expulsión, se instalará asociado con fusibles de alto poder de corte. La protección contra sobretensiones se empleará autoválvulas de óxidos metálicos en los siguientes elementos:

- Transformadores
- Pasos aéreo-subterráneos
- Conductores forrados

### **3.5. Cronograma de elaboración del proyecto**

Para la elaboración del cronograma del presente proyecto se utilizaron las siguientes herramientas.

#### **3.5.1. Diagrama de Gantt**

Los cronogramas de ejecución e inversión de los proyectos en mención se elaboraron por medio de los renglones de trabajo (ver apéndice B) que se ejecutarán, detallando el avance físico de los proyectos, como el avance financiero que corresponde a los porcentajes de las estimaciones propuestos para la ejecución de los proyectos. Este cronograma de ejecución e inversión, se detalla en el apéndice C del presente informe.

### **3.6. Presupuesto**

El presupuesto, se elaboró calculando los costos directos e indirectos que conlleva el proyecto, cada uno de ellos lleva sus características particulares y aplicación de porcentajes de impuestos e imprevistos, para que pueda ajustarse mucho a la realidad.

#### **3.6.1. Costos directos**

Los costos directos para la ejecución del proyecto, representan los gastos que se harán de forma directa, en este caso se toma como el costo de materiales, licencia de construcción, que se hace efectivo directamente a la empresa Energuate y el costo de los impuestos, que tiene un valor del 12% del monto total del proyecto.

Los montos que se presentarán supondrán fluctuaciones mínimas en el valor de la moneda del dólar. Para tal efecto, el valor de los costos directos del proyecto del estudio realizado de introducción de energía eléctrica para estas comunidades, en moneda nacional asciende a Q1,104,054.22. El desglose de materiales y el costo unitario se encuentra detallado en las tablas del apéndice D.

#### **3.6.2. Costos indirectos**

Estos costos representan los gastos que se hacen de forma indirecta, por lo que no se tiene un monto exacto, más que la representación de porcentajes que estos puedan generar. Como costos indirectos se consideran la mano de obra calificada, maquinaria y equipo a utilizar, transporte, administración, ingeniería e imprevistos que puedan irse dando durante la ejecución del

proyecto. Los costos indirectos del proyecto, en moneda nacional ascienden a Q 940,000.00.

### **3.6.3. Costos totales**

Los costos totales no son más que la suma de costos directos con costos indirectos y en moneda nacional ascienden a Q 2,044,054.22.



## **4. FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE**

### **4.1. Capacitación al coordinador de la Oficina de Planificación Municipal**

Se le brindó la información necesaria, para que pueda ir orientando en el adecuado uso de la energía eléctrica a los habitantes de las comunidades beneficiadas con este proyecto, así también, se le preparó para la prevención de accidentes; cómo aprovechar el recurso eléctrico con miras a un desarrollo tecnológico que ayude a mejorar las condiciones de vida de la comunidad, ya que podrán tener acceso a nuevas comodidades que incluso ayudarán al medio ambiente.

También se le explicó la forma en que se desarrolló el proyecto, haciéndole ver lo que implica el estudio, la selección de la trayectoria, los levantados topográficos con coordenadas, la distribución y costo de los materiales, para que pueda tener una visión global y para futuros proyectos, pueda tener una idea general de los costos que estos implican.

Adicionalmente, se le proporcionó un juego de planos descriptivos del proyecto, en la que aparece la red eléctrica, con sus componentes y su ubicación en coordenadas UTM, con distancias y ubicación de los transformadores, para que tengan una visualización más amplia de la cobertura actual y para futuras ampliaciones, pueda servir de referencia.

#### **4.1.1. Resultados de la elaboración de trifoliar informativo**

Fue muy práctico, ya que de una forma visual, sencilla y clara, fue posible transmitir algunos conceptos importantes, que ayudarán a prevenir accidentes y a aprovechar de mejor forma los beneficios de la energía eléctrica. En el apéndice F se muestra una copia de dicho trifoliar informativo.

#### **4.1.2. Conceptos de peligros, ventajas y desventajas sobre el uso de la energía eléctrica**

A continuación se lista una serie de conceptos, relacionados con los peligros, ventajas y desventajas sobre el uso de la energía eléctrica:

- No conectar a la red aparatos que estén mojados
- Antes de cualquier manipulación de la instalación eléctrica, desconectar previamente el cuadro o interruptor general.
- No manejar aparatos eléctricos con las manos mojadas ni estando descalzo.
- Proteger los tomacorrientes
- Mantener en buen estado los tomacorrientes así como las clavijas de conexión a la red de los aparatos eléctricos.
  - En caso de personas electrocutadas, es imprescindible verificar que la víctima no esté en contacto con la corriente, antes de tocarla. En el caso de que todavía esté en contacto con la electricidad: si se trata de corriente doméstica, hay que cortar la corriente, desconectando el interruptor general si se sabe donde está; si no, no hay que perder el tiempo en buscarlo. Aislarse del suelo (con una manta, una tabla de madera o periódicos e intentar separar a la víctima de la corriente, con la ayuda de un palo de madera

(escoba). No utilizar nunca objetos metálicos. Una vez fuera de peligro, valore el estado de la víctima e inicie las maniobras de reanimación cardiopulmonar en caso necesario.



## CONCLUSIONES

1. La construcción de los proyectos de introducción de energía eléctrica, beneficiará en gran manera a los pobladores de las comunidades Bojorquez, Horno de Vides, Agua Zarca de la aldea Atulapa, por cuanto dispondrán del servicio eléctrico.
2. Con el proyecto de energía eléctrica será factible la introducción de un proyecto de agua potable, accionado con un sistema eléctrico, mejorando con esto la calidad de vida de estas comunidades.
3. La obtención de datos por medio de coordenadas UTM permiten ubicar geográficamente las estructuras eléctricas en el momento de la ejecución del proyecto.
4. Un diseño de redes de distribución facilita a una empresa constructora en la ejecución de un proyecto de introducción de energía eléctrica en un sector urbano o rural.
5. Contar con un presupuesto detallado facilita a los gestores municipales la implementación de los proyectos de introducción de energía eléctrica a las distintas comunidades en estudio.
6. La elaboración de planes y renglones de trabajo determina a los gestores municipales la obtención del financiamiento necesario para la ejecución de los proyectos, mediante los costos financieros establecidos.



## RECOMENDACIONES

1. Debido al crecimiento poblacional en las comunidades, es importante implementar las redes de distribución eléctrica a corto plazo, ya que al prolongarse el tiempo demandará un nuevo diseño, lo cual requerirá la obtención de nuevos datos en coordenadas UTM para la ubicación de estructuras, así como el cambio de renglones de trabajo.
2. Considerando los cambios fluctuantes de los precios de materiales en el mercado, será necesario ejecutar el proyecto a la brevedad posible, de lo contrario, los costos establecidos no cubrirán con lo requerido.
3. Concientizar a los consumidores finales del servicio eléctrico de las comunidades en estudio, al ahorro del consumo de energía eléctrica, para evitar que el costo de este servicio afecte al presupuesto familiar y creando de esta forma una cultura ambientalista y ecológica.
4. Realizar asambleas comunitarias mediante charlas informativas por parte de las autoridades municipales, ayudará a prevenir accidentes que pueden ser provocados por el mal uso o manipulación inadecuada de la energía eléctrica.





## BIBLIOGRAFÍA

1. American International Standards Institute. *National electrical safety code*. USA: ANSI, 1992. 242 p.
2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas Técnicas de diseño y operación de servicio de transporte de energía eléctrica. (NTDOST): Resolución CNEE No. 49-99*. Guatemala : CNEE, 1999. 52 p.
3. ENRIQUEZ HARPER, Gilberto. *Líneas de transmisión y redes de distribución de energía eléctrica*. 2a. ed. México: Limusa. 1990. 245 p.
4. FINK, Donald G. ; BEATY, H. Wayne. *Manual de Ingeniería Eléctrica*. 13a ed. México: Mc Graw-Hill, 1996. 325 p.
5. Guatemala, Congreso de la República de Guatemala. *Ley General de Electricidad: Decreto No. 93-96,, 1996*, Guatemala, Congreso de la Rep. 1996. 89 p.
6. JIMENEZ MEZA., Oved Renato; CANTU GUTIERREZ, Vicente; CONDE ENRIQUEZ, Arturo. *Líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica*. Nuevo León, México: Ciudad Universitaria San Nicolas de los Garza, 2006. 112 p.

6. MORALES MAZARIEGOS, Juan Fernando. Elemento de protección de potencia. Guatemala. Sergráfica, 2004. 102 p.
  
8. Unión Fenosa Internacional. *Manual de unidades constructivas*. Galicia, España: Unión Fenosa, 2004. 102 p.

## APÉNDICES

Apéndice A	Coordenadas
Apéndice B	Renglones de trabajo
Apéndice C	Cronograma de ejecución e inversión del
Apéndice D	Materiales
Apéndice E	Planos
Apéndice F	Trifoliar

## Apéndice A. Coordenadas

No. Poste	No. GPS	COORDENADAS		DISTANCIA	No. Poste	No. GPS	COORDENADAS		DISTANCIA
		16P	UTM	(mts)			16P	UTM	(mts)
1	1	250499	1611487	INICIO	58	58	253952	1612610	97
2	2	250586	1611446	94	59	59	254012	1612595	63
3	3	250569	1611483	77	60	60	253963	1612702	93
4	4	250599	1611497	32	61	61	253958	1612807	110
5	5	250661	1611546	81	62	62	254050	1612812	85
6	6	250690	1611568	40	63	63	254153	1612809	89
7	7	250711	1611623	57	64	64	253955	1612889	81
8	8	250722	1611709	57	65	65	253936	1612963	77
9	9	250794	1611731	72	66	66	253925	1613077	78
10	10	250856	1611749	65	67	67	253875	1612992	73
11	11	250941	1611773	84	68	68	253803	1612947	87
12	12	251050	1611806	109	69	69	253750	1612920	70
13	13	251184	1611849	130	70	70	253688	1612861	88
14	14	251273	1611874	88	71	71	253528	1613135	356
15	15	251370	1611905	100	72	72	253489	1613158	47
16	16	251449	1611915	79	73	73	253652	1613176	115
17	17	251530	1611941	80	74	74	253954	1612112	81
18	18	251493	1612044	115	75	75	253950	1613177	80
19	19	251511	1612158	112	76	76	253932	1613235	66
20	20	251491	1612224	69	77	77	253985	1613547	53
21	21	251490	1612316	86	78	78	254012	1613157	143
22	22	251513	1612510	204	79	79	254106	1613203	108
23	23	251623	1612555	115	80	80	254355	1613326	281
24	24	251681	1612664	126	81	81	254194	1613545	280
25	25	251755	1612706	82	82	82	254196	1613618	78
26	26	251769	1612691	93	83	83	254222	1613688	77
27	27	251892	1612756	60	84	84	254258	1613768	94
28	28	251952	1612773	60	85	85	254168	1613801	88
29	29	251967	1612883	110	86	86	254269	1613839	72
30	30	252048	1612942	100	87	87	254270	1613866	114
31	31	252069	1613011	72	88	88	254277	1613937	84
32	32	252192	1613099	143	89	89	254328	1613993	81
33	33	252275	1613173	111	90	90	254393	1614025	70
34	34	252383	1613162	137	91	91	214079	1654440	66
35	35	252519	1613155	119	92	92	254512	1613455	204
36	36	252631	1613117	119	93	93	254667	1613622	217
37	37	252785	1613122	144	94	94	254706	1613693	81
38	38	252949	1613085	163	95	95	254945	1613804	263
39	39	253028	1612950	147	96	96	254964	1613734	75
40	40	252964	1612893	83	97	97	255103	1613723	128
41	41	252902	1612840	76	98	98	255144	1613739	42
42	42	252985	1612788	100	99	99	255208	1613856	136
43	43	253047	1612726	86	100	100	255405	1614059	283
44	44	253167	1612755	235	101	101	255357	1614064	51
45	45	253529	1612781	360	102	102	255306	1614027	64
46	46	253546	1612625	158	103	103	255339	1614222	60
47	47	253598	1612165	54	104	104	255340	1614194	73
48	48	253506	1612702	53	105	105	255287	1614233	66
49	49	253443	1612654	56	106	106	255258	1614260	42
50	50	253609	1612595	74	107	107	255512	1614121	125
51	51	253681	1612543	87	108	108	255536	1614167	48
52	52	253742	1612467	98	109	109	255556	1614254	90
53	53	253798	1612393	93	110	110	255500	1614394	276
54	54	253844	1612335	75	111	111	255713	1614496	232
55	55	253882	1612402	78	112	112	255736	1614446	40
56	56	254059	1612266	226	113	113	255782	1614442	51
57	57	253854	1612598	179	114	114	255654	1614554	82
58	58	253952	1612610	97	115	115	255589	1614606	83
59	59	254012	1612595	63	116	116	255649	1614636	60
57	57	253854	1612598	179	117	117	255665	1614656	45

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice B. Renglones de trabajo

No.	NOMBRE DE RENGLON	UNIDAD	CANT.
1	Suministro e instalación de rótulo del proyecto	Unidad	1
2	Replanteo y marcaje	Unidad	116
3	Ahoyado de poste de baja tensión	Unidad	41
4	Suministro e instalación de poste de baja tensión	Unidad	41
5	Ahoyado de poste de media tensión	Unidad	75
6	Suministro e instalación de poste de mediana tensión	Unidad	75
7	Ahoyado para anclaje simple	Unidad	48
8	Suministro e instalación de ancla simple	Unidad	48
9	Ahoyado para anclaje doble	Unidad	116
10	Suministro e instalación para ancla doble	Unidad	116
11	Suministro e instalación de herraje y aislamiento en baja tensión	Unidad	41
12	Suministro e instalación de herraje y aislamiento en media tensión	Unidad	75
13	Suministro e instalación de cable de baja tensión	Metros	28791
14	Suministro e instalación de cable de media tensión	Metros	39725
15	Suministro e instalación de cortacircuito	Unidad	15
16	Suministro e instalación de pararrayo	Unidad	15
17	Suministro e instalación de transformadores de 10 kVA	Unidad	8
18	Suministro e instalación de transformador de 25 kVA	Unidad	1
19	Suministro e instalación de tierra física	Unidad	116
20	Medición y ajuste de valores de tierra física	Unidad	116

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice C. Cronograma de ejecución e inversión

No.	ACTIVIDAD	MES 1				MES 2				MES 3			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Suministro e instalación de rótulo del proyecto	■											
2	Replanteo y marcaje												
3	Ahoyado de poste de baja tensión		■										
4	Suministro e instalación de poste de baja tensión												
5	Ahoyado de poste de media tensión			■									
6	Suministro e instalación de poste de mediana tensión				■								
7	Ahoyado para anclaje simple					■							
8	Suministro e instalación de ancla simple						■						
9	Ahoyado para anclaje doble							■					
10	Suministro e instalación para ancla doble								■				
11	Suministro e instalación de herraje y aislamiento en baja tensión									■			
12	Suministro e instalación de herraje y aislamiento en media tensión										■		
13	Suministro e instalación de cable de baja tensión											■	
14	Suministro e instalación de cable de media tensión												■
15	Suministro e instalación de cortacircuito												■
16	Suministro e instalación de pararrayo												■
17	Suministro e instalación de transformadores de 10 kVA												■
18	Suministro e instalación de transformador de 25 kVA												■
19	Suministro e instalación de tierra física												■
20	Medición y ajuste de valores de tierra física												■
COSTO TOTAL DEL PROYECTO (Q)		2,044,054.22	408,810.84	408,810.84	408,810.84	408,810.84	408,810.84	204,405.42	204,405.42				
PORCENTAJE		100%	20%	20%	20%	20%	20%	10%	10%				

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice D. Materiales

No.	DESCRIPCION DE MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Transformador monofásico tipo poste de 10KVA	Unidad	8	Q10,236.69	Q81,893.52
2	Transformador monofásico tipo poste de 25KVA	Unidad	1	Q17,957.56	Q17,957.56
3	CINCHO PLASTICO UV DE 14" (BOSA 100 UNIDAD)	Unidad	2	Q38.10	Q76.20
4	CABLE ACSR 1/0 RAVEN 6/1	Metros	16250	Q7.79	Q126,587.50
5	CABLE ACERO GALVANIZDO 3/8" EHS	Metros	3450	Q6.86	Q23,667.00
6	SOPORTE VERTICAL PARA AISLADOR TIPO POSTE	Unidad	66	Q113.85	Q7,514.10
7	PERNO AISLADOR TIPO POSTE CORTO	Unidad	66	Q14.97	Q988.02
8	AISLADOR TIPO POSTE 57-3	Unidad	66	Q237.38	Q15,667.08
9	PERNO MAQUINA 5/8" X 10"	Unidad	100	Q10.42	Q1,042.00
10	SOPORTE VERTICAL PARA AISLADOR TIPO POSTE	Unidad	66	Q113.85	Q7,514.10
11	PERNO OJO 5/8" X 10"	Unidad	250	Q22.91	Q5,727.50
12	TUERCA OJO 5/8"	Unidad	80	Q17.02	Q1,361.60
13	VARILLA COBRE 5/8" X 8'	Unidad	10	Q46.46	Q464.60
14	AISLADOR POLIMERO 34 KV GOMA SILICON	Unidad	66	Q158.39	Q10,453.74
15	GRAPA REMATE ALUM. #6 AL 2/0ACSR 7000LBS	Unidad	132	Q64.59	Q8,525.88
16	GRAPA SUSPENSION ALUM. 1/0 AL 366.4ACSR	Unidad	4	Q81.74	Q326.96
17	REIMATE PREFOR. 3/8" ACERO	Unidad	480	Q18.78	Q9,014.40
18	CONECTOR CUÑA 1/0 AL #2 -1/0 AZUL C/C	Unidad	60	Q26.90	Q1,614.00
19	CONECTOR COMP. COBRE TIPO C #2 AL #2	Unidad	10	Q11.43	Q114.30
20	GRAPA CONEXIÓN A TIERRA DOS TORNILLOS	Unidad	20	Q4.20	Q84.00
21	GRILLETE LARGO 5/8" N.C.	Unidad	66	Q39.06	Q2,577.96
22	GUARDA CABO CABLE ACERO 5/16" A 1/2"	Unidad	480	Q4.58	Q2,198.40
23	VARILLA ANCLAJE DOBLE 5/8" x 7'	Unidad	116	Q90.11	Q10,452.76
24	ANCLA POLIPROPILENO 116"	Unidad	117	Q91.43	Q10,697.31
25	RETENCION OMEGA 1/0 PARA AISLADOR HORIZONTAL	Unidad	84	Q15.10	Q1,268.40
26	RETENCION Z 1/0 A.V.	Unidad	26	Q14.39	Q374.14
27	RACK 1 CAMPO TIPO PESADO	Unidad	56	Q32.52	Q1,821.12
28	AISLADOR CARRETE 83-2 GRIS	Unidad	56	Q6.81	Q381.36
29	RETENCION OMEGA PARA CARRETE 1/0	Unidad	56	Q9.82	Q549.92
30	CORTA CIRCUITO 27 KV 100 AMP. SIN HERRAJE	Unidad	1	Q515.58	Q515.58

Continuación del apéndice D.

31	PARARRAYO POLIMERO 27 KV 10 KA SIN HERR	Unidad	1	Q560.44	Q560.44
32	SOPORTE SECCIONADOR FUSIBLE EN POSTE	Unidad	2	Q87.08	Q174.16
33	CONECTOR COMP. COBRE VARILLA 5/8" A CABLE	Unidad	10	Q43.26	Q432.00
34	ARANDELA CUADRADA CURVA 2-1/4" x 5/8"	Unidad	48	Q4.17	Q200.16
35	CONECTOR FARGO # 8 AL 1/0 ACSR	Unidad	1	Q81.63	Q81.63
36	BAIL CLAMP # 6 AL 2/0	Unidad	1	Q90.64	Q90.64
37	VARILLA ANCLAJE SENCILLA 5/8" x 7'	Unidad	1	Q81.46	Q81.46
38	SOPORTE TIRANTE ACERA 1 MT	Unidad	1	Q187.69	Q187.69
39	AISLADOR POLIMERO 34 KV GOMA SILICON	Unidad	76	Q158.39	Q12,037.64
40	SACO BENTONITA	Unidad	40	Q48.13	Q1,925.20
41	GRAPA REMATE ALUM. #6 AL 2/0ACSR 7000LBS	Unidad	149	Q64.59	Q9,623.91
42	SOPORTE SECCIONADOR FUSIBLE EN POSTE	Unidad	87	Q87.08	Q7,575.96
43	AISLADOR TIPO POSTE 57-3	Unidad	87	Q237.38	Q20,652.06
44	PERNO AISLADOR TIPO POSTE CORTO	Unidad	87	Q14.97	Q1,302.39
45	VARILLA ANCLAJE DOBLE 5/8" x 7'	Unidad	112	Q90.11	Q10,092.32
46	VARILLA ANCLAJE SENCILLA 5/8" x 7'	Unidad	48	Q81.45	Q3,909.60
47	ANCLA POLIPROPILENO 116"	Unidad	170	Q91.43	Q15,543.10
48	GRAPA REMATE C.F. #2 AL 1/0	Unidad	116	Q44.51	Q5,163.16
49	PERNO OJO 5/8" X 10"	Unidad	300	Q22.91	Q6,873.00
50	TUERCA OJO 5/8"	Unidad	250	Q17.02	Q4,255.00
51	CABLE ACSR 1/0 RAVEN 6/1	Metros	39725	Q5.59	Q222,062.75
52	CABLE TRIPLEX 1/0 NEUTRO FORRADO	Metros	5526	Q28.05	Q155,004.30
53	CABLE ACERO GALVANIZADO 3/8" EHS	Metros	3565	Q6.86	Q24,455.90
54	PERNO MAQUINA 5/8" X 10"	Unidad	116	Q10.42	Q1,208.72
55	ARANDELA CUADRADA CURVA 2-1/4" x 5/8"	Unidad	1256	Q4.17	Q5,237.52
56	CONECTOR FARGO # 8 AL 1/0 ACSR	Unidad	12	Q81.63	Q979.56
57	BAIL CLAMP # 6 AL 2/0	Unidad	13	Q90.64	Q1,178.32
58	CONECTOR CUÑA 1/0 AL #2 -1/0 AZUL C/C	Unidad	180	Q26.90	Q4,842.00
59	VARILLA COBRE 5/8" X 8'	Unidad	107	Q46.46	Q4,971.22
60	CONECTOR COMP. COBRE VARILLA 5/8" A CABLE	Unidad	107	Q43.26	Q4,628.82
61	GRAPA CONEXIÓN A TIERRA SIN TORNILLOS	Unidad	22	Q4.20	Q92.40



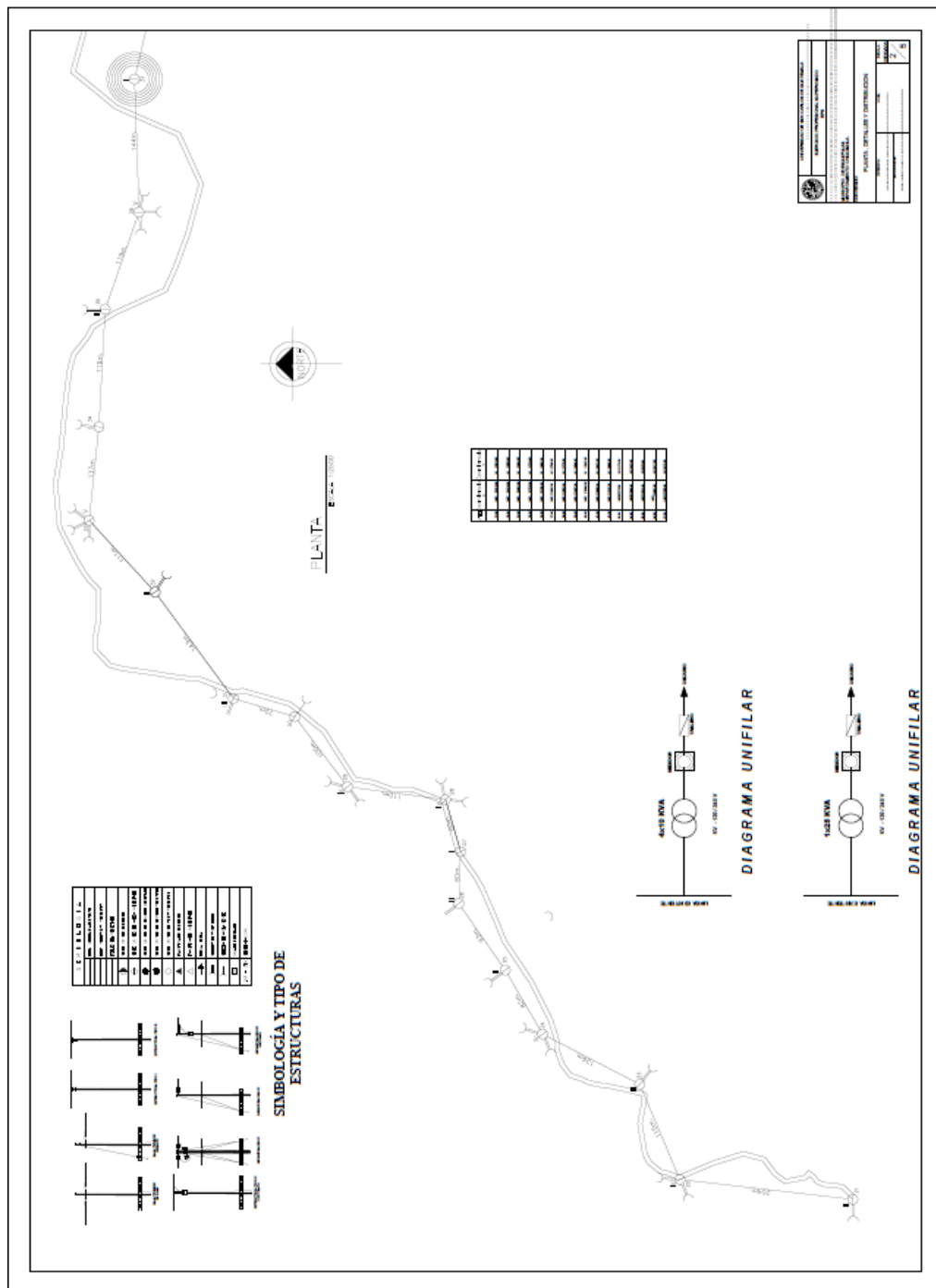
Continuación del apéndice D.

62	GUARDA CABO CABLE ACERO 5/16" A 1/2"	Unidad	270	Q4.58	Q1,236.60
63	REMATE PREFOR. 3/8" ACERO	Unidad	550	Q18.78	Q10,329.00
64	ALAMBRE ACERO-COBRE #2 30%	Metros	610	Q17.38	Q10,601.80
65	MONTURA UN TRANSFORMADOR N.C.	Unidad	20	Q158.51	Q3,170.20
66	TERMINAL ENTALLAR AISLADA 1/0 AWG	Unidad	12	Q27.70	Q332.40
67	CONECTOR PERFORACION C.F.#6-4/0 AL #12 - #2	Unidad	140	Q18.38	Q2,573.20
68	SOPORTE SECCIONADOR FUSIBLE EN POSTE	Unidad	2	Q87.08	Q174.16
69	CORTA CIRCUITO 27 KV 100 AMP. SIN HERRAJE	Unidad	1	Q515.58	Q515.58
70	PARARRAYO POLIMERO 27 KV 10 KA SIN HERR	Unidad	1	Q560.44	Q560.44
71	PROTECTOR PUNTA CABLE FORRADO 1/0	Unidad	600	Q2.32	Q1,392.00
72	CONECTOR COMP. COBRE TIPO C#2 AL #2	Unidad	80	Q11.43	Q914.40
73	GRILLETE LARGO 5/8" N.C.	Unidad	76	Q39.06	Q2,968.56
74	RETENCION Z 1/0 A.V.	Unidad	30	Q14.39	Q431.70
75	RETENCION OMEGA 1/0 PARA AISLADOR HORIZONTAL	Unidad	50	Q15.10	Q755.00
76	RACK 1 CAMPO TIPO PESADO	Unidad	38	Q32.52	Q1,235.76
77	AISLADOR CARRETE 83-2 GRIS	Unidad	38	Q6.81	Q258.78
78	POSTES MADERA	Unidad	115	Q1,650.00	Q189,750.00

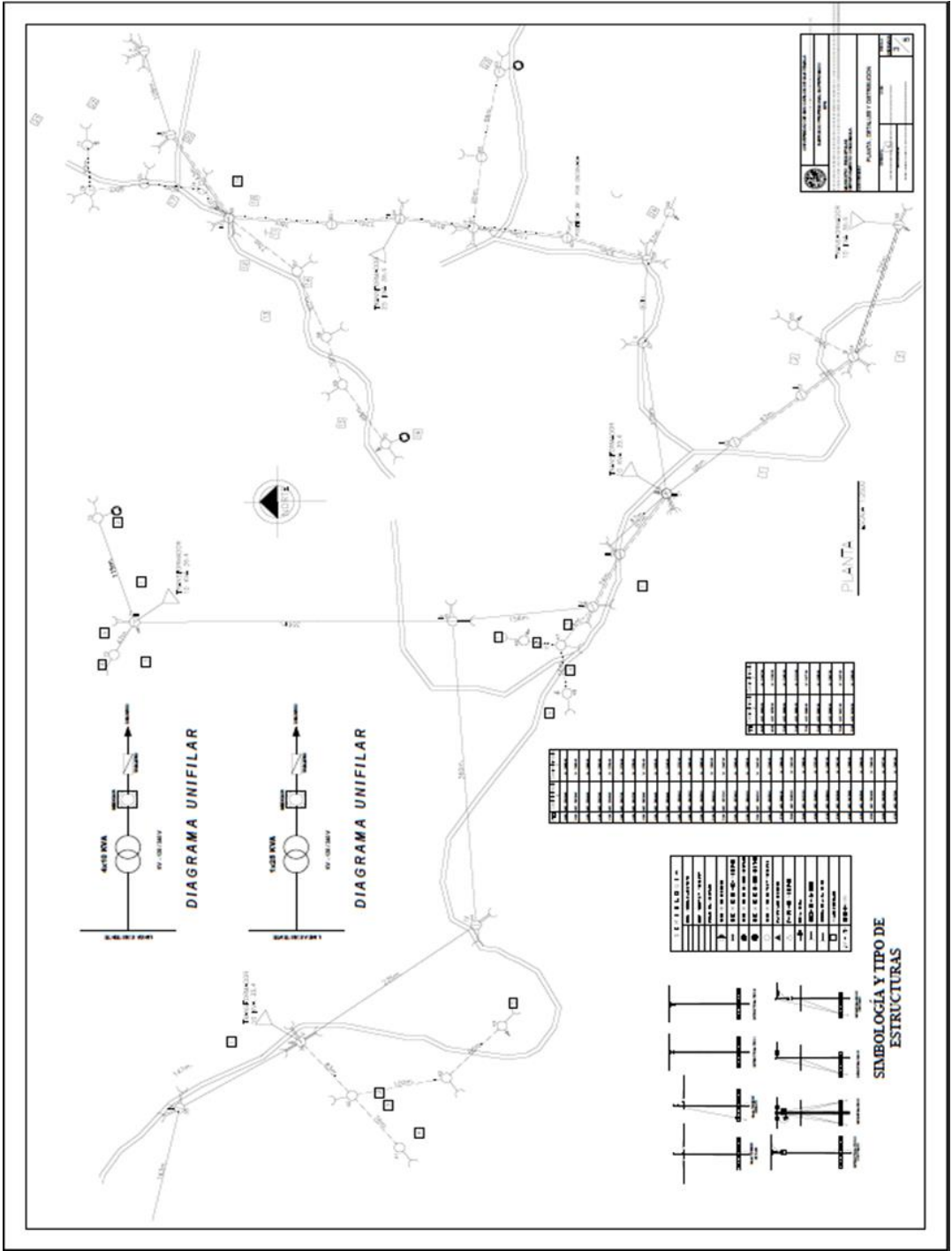
Fuente: elaboración propia.



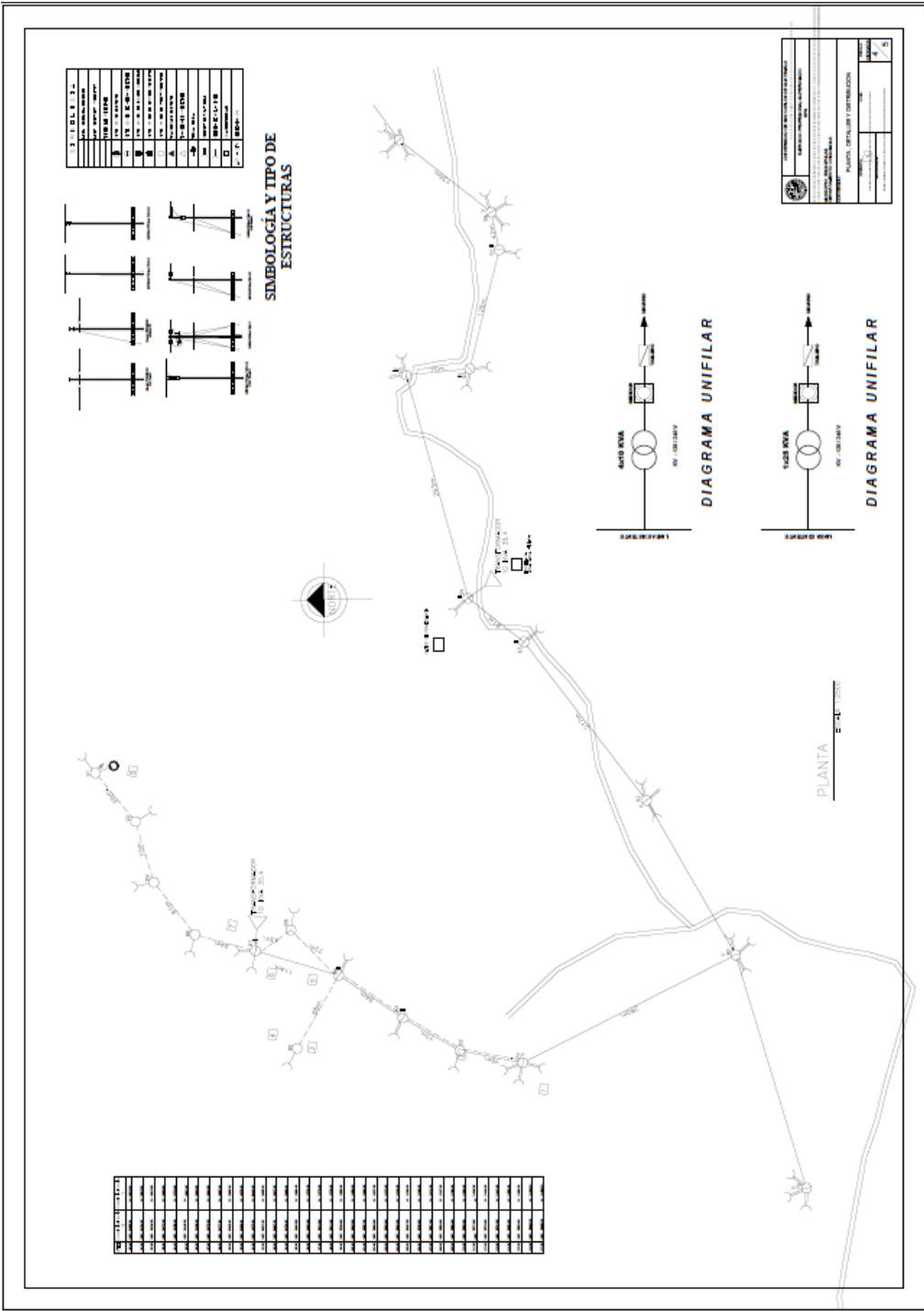
Continuación del apéndice E.



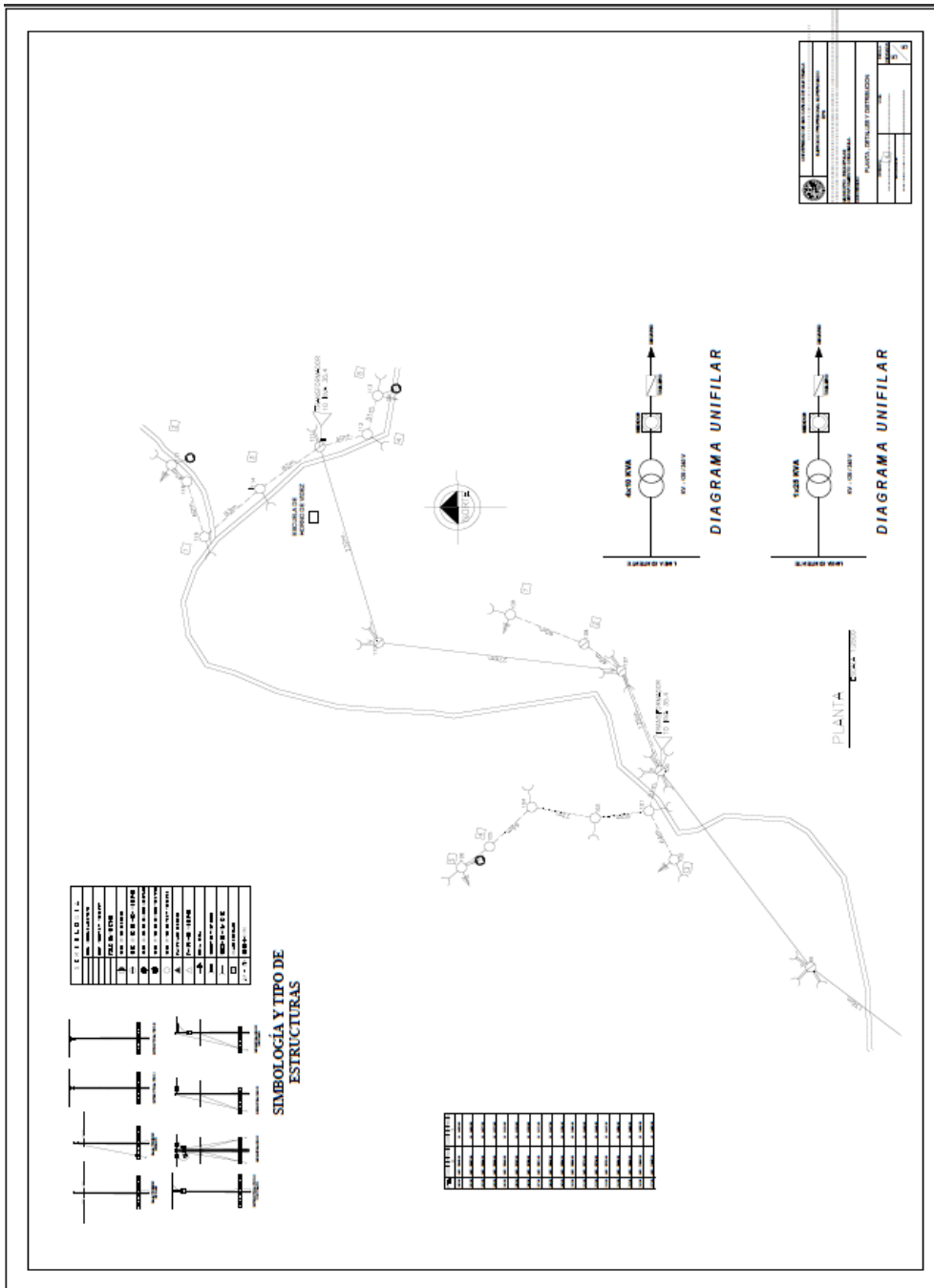
Continuación del apéndice E.



Continuación del apéndice E.





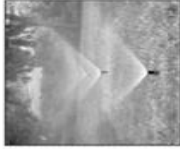








Continuación del apéndice E.













Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

## Apéndice E. Trifoliar

<p data-bbox="526 1402 639 1541">Nos brinda nuevas oportunidades de progreso educativo y de aprovechamiento del tiempo.</p>  <p data-bbox="753 1402 841 1541">Acceso a otras tecnologías y accesorios que nos brinda progreso y comodidad.</p>  <p data-bbox="941 1402 1052 1541">Se puede incursionar en la elaboración de incubadoras caseras, para tener nuevas fuentes de trabajo y por ende de ingresos.</p>  <p data-bbox="1107 1402 1218 1541">Podemos utilizar la energía eléctrica para extraer agua de un pozo y llevarla a nuestra casa o donde requiramos.</p>  <p data-bbox="1289 1352 1312 1373">5</p>	<p data-bbox="506 953 639 1092">Podemos implementar sistemas de riego, por medios de equipos eléctricos, ayudando a economizar y utilizar mejor los recursos.</p>  <p data-bbox="766 974 948 1092">Contar con energía eléctrica, nos puede permitir contar con aparatos como un refrigerador, que nos ayudará a mantener los alimentos frescos y en perfecto estado.</p>  <p data-bbox="1039 953 1198 1092">Podemos iniciar un negocio de estructuras metálicas, lo cual traerá ingresos económicos y nuevas oportunidades de desarrollo para la comunidad.</p>  <p data-bbox="1289 898 1312 919">6</p>	<p data-bbox="454 533 477 806"><b>CUIDADOS CON LA ELECTRICIDAD</b></p> <p data-bbox="548 512 639 651">No permitir que los niños introduzcan los dedos en los toma corrientes, se pueden electrocutar.</p>  <p data-bbox="714 512 805 651">Los aparatos electrodomésticos, deben tener su clavija correcta, para evitar accidentes.</p>  <p data-bbox="893 512 1003 651">Para cambiar un foco, es necesario tomar las precauciones necesarias, para evitar electrocutarse y/o sufrir una caída.</p>  <p data-bbox="1117 512 1227 651">No se debe hacer contacto directo con cables en mal estado, o expuestos, esto puede provocar quemaduras y hasta la muerte.</p>  <p data-bbox="1101 680 1117 827">CONTACTO ELÉCTRICO DIRECTO</p> <p data-bbox="1289 449 1312 470">1</p>
---	--	--

Continuación del apéndice E.

<p data-bbox="308 1354 397 1501">No se debe orinar ni regar con manguera los cables eléctricos, esto puede electrocutar a la persona.</p>  <p data-bbox="527 1354 690 1501">Se debe tener mucho cuidado a la hora de transportarse, ya que podemos hacer contacto con cables energizados y esto provocar electrocuciones.</p>  <p data-bbox="763 1354 901 1501">Las aves pueden posarse sobre los cables energizados, porque no están en contacto más que con el cable. Si tocan tierra, se electrocutarán.</p>  <p data-bbox="1039 1291 1079 1333">2</p>	<p data-bbox="332 934 470 1081">El jugar con cometas, puede causar daños a la red eléctrica, máxime en tiempo de lluvia, ya que el agua es un conductor eléctrico.</p>  <p data-bbox="535 934 673 1081">Para reestablecer los servicios de electricidad, solo lo pueden hacer personal capacitado y de la Empresa que suministra el servicio.</p>  <p data-bbox="657 1102 682 1228">Reservar los servicios</p> <p data-bbox="738 934 876 1081">Cuando una persona está arrapada con cables energizados, se le puede auxiliar con elementos no conductores de electricidad.</p>  <p data-bbox="1039 861 1079 903">3</p>	<p data-bbox="284 514 308 766"><b>VENTAJAS DE LA ELECTRICIDAD</b></p> <p data-bbox="381 483 446 640">Nos permite poder iluminar nuestras casas por las noches.</p>  <p data-bbox="560 483 625 640">Nos permite poder iluminar las calles por las noches, brindando más seguridad.</p>  <p data-bbox="706 504 795 630">Nos da comodidad y ayudamos al medio ambiente, evitamos incendios.</p>  <p data-bbox="909 483 998 640">Nos abre nuevas oportunidades de trabajo que ayudan al desarrollo de los pueblos.</p>  <p data-bbox="1039 430 1079 472">4</p>
--	---	---

Fuente: elaboración propia.