



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

**DISEÑO DE RECONDUCTORADO SUBTERRÁNEO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN  
ELÉCTRICA EN SANTA ROSALÍA LA LAGUNA, SANTA CATARINA PINULA,  
GUATEMALA, EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.**

**Juan Carlos Muñoz Ramírez**

Asesorado por el Ing. Ángel Eduardo Polanco Anzueto

Guatemala, octubre de 2012



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

**DISEÑO DE RECONDUCTORADO SUBTERRÁNEO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN  
ELÉCTRICA EN SANTA ROSALÍA LA LAGUNA, SANTA CATARINA PINULA,  
GUATEMALA, EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.**

**Juan Carlos Muñoz Ramírez**

Asesorado por el Ing. Ángel Eduardo Polanco Anzueto

Guatemala, octubre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE RECONDUCTORADO SUBTERRÁNEO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN  
ELÉCTRICA EN SANTA ROSALÍA LA LAGUNA, SANTA CATARINA PINULA,  
GUATEMALA, EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JUAN CARLOS MUÑOZ RAMÍREZ**

ASESORADO POR EL ING. ÁNGEL EDUARDO POLANCO ANZUETO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jonatan Natanael Requena Gómez
EXAMINADOR	Ing. Ángel Eduardo Polanco Anzueto
EXAMINADOR	Ing. Saúl Cabezas Durán
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE RECONDUCTORADO SUBTERRÁNEO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN  
ELÉCTRICA EN SANTA ROSALÍA LA LAGUNA, SANTA CATARINA PINULA,  
GUATEMALA, EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha marzo de 2012.



**Juan Carlos Muñoz Ramírez**


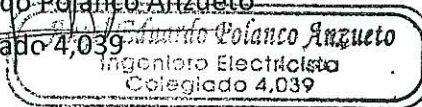
Guatemala 14 de febrero del 2012

A quien interese

Por este medio hago constar que el estudiante **Juan Carlos Muñoz Ramírez** que se identifica con el carnet estudiantil **200515855** de la Facultad de Ingeniería y Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad San Carlos de Guatemala, finalizó el Ejercicio Profesional Supervisado el día 14 de febrero del 2012 cumpliendo con todas las revisiones y correcciones citadas por mi persona correspondientes al INFORME FINAL DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO EPS, titulado: "DISEÑO DE RECONDUCTORADO SUBTERRÁNEO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN SANTA ROSALÍA LA LAGUNA, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA, EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A."

En virtud de lo anteriormente expuesto y para la los usos que le convengan, como asesor extendiendo la presente carta.

Sin otro particular, atentamente,

  
Ing. Angel Eduardo Polanco Anzueto  
Colegiado 4,039 



Ref. EIME 40. 2012

Guatemala, 22 de MAYO 2012.

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

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
"DISEÑO DE RECONDUCTORADO SUBTERRÁNEO PARA LA  
RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN SANTA ROSALÍA LA  
LAGUNA, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA,  
EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.", del  
estudiante Juan Carlos Muñoz Ramírez, que cumple con los  
requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
DID Y ENSEÑADA A TODOS

Ing. Hugo Luis Pérez Rivera  
Coordinador Área Potencia



H.P.R./mó



Guatemala, 05 de septiembre de 2012.  
Ref.EPS.DOC.1218.09.12.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.


Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Juan Carlos Muñoz Ramírez** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, con carné No. **200515855**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DISEÑO DE RECONDUCTORADO SUBTERRÁNEO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN SANTA ROSALÍA LA LAGUNA, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA, EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.”**.

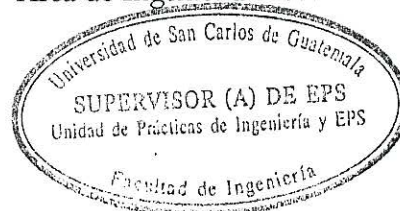
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

  
Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez  
Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo  
NJRG/ra





Guatemala, 05 de septiembre de 2012.  
Ref.EPS.D.719.09.12.

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

Estimado Ingeniero Puente Romero.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DISEÑO DE RECONDUCTORADO SUBTERRÁNEO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN SANTA ROSALÍA LA LAGUNA, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA, EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A."** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Juan Carlos Muñoz Ramírez**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Ángel Polanco Anzueto 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 Alfaro Calderón de León  
Directora Unidad de EPS



SACdL/ra



REF. EIME 48.2012.

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; JUAN CARLOS MUÑOZ RAMÍREZ titulado: "DISEÑO DE RECONDUCTORADO SUBTERRÁNEO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN SANTA ROSALÍA LA LAGUNA, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA, EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.", procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 12 DE SEPTIEMBRE 2012.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE RECONDUCTORADO SUBTERRÁNEO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN SANTA ROSALÍA LA LAGUNA, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA, EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Juan Carlos Muñoz Ramírez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, octubre de 2012

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Mis padres**

Por disfrutar mis triunfos y soportar estoicamente mis fracasos durante esta empresa.

**Mis hermanos y amigos**

Por su paciencia y apoyo incondicional.

**La Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por brindarme hasta el día de hoy, los mejores años de mi vida.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XXI
OBJETIVOS .....	XXIII
INTRODUCCIÓN .....	XXV
1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA ELÉCTRICA EN GUATEMALA .....	1
1.1. Historia de la empresa .....	1
1.1.1. Primera sociedad .....	1
1.1.2. Cambio de nombre de la sociedad .....	3
1.1.3. Primeras generadoras a vapor .....	4
1.1.4. Creación de la sociedad mixta .....	5
1.1.5. Ley General de Electricidad .....	5
1.1.6. Proceso de capitalización .....	6
1.1.7. Transformación empresarial .....	8
1.1.8. Transformación tecnológica .....	8
1.1.9. Consolidación de los procesos del negocio .....	9
1.2. Actividades de la Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima .....	11
1.2.1. Servicios .....	12
1.3. Estructura organizacional .....	13
1.4. Ubicación .....	13
1.5. Mercado objetivo .....	15

2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL.....	17
2.1.	Introducción a las redes subterráneas.....	17
2.2.	Presupuesto.....	18
2.2.1.	Materiales y equipos .....	19
2.2.1.1.	Conductores y materiales para instalaciones subterráneas.....	19
2.2.1.2.	Equipos para instalación subterránea. ....	26
2.2.1.2.1.	Cajas de registro para ramal .....	28
2.2.1.2.2.	Cajas de registro para remate .....	33
2.2.1.2.3.	Cajas de registro para servicios .....	35
2.2.1.3.	Transformadores tipo Pad-Mounted .....	42
2.2.1.3.1.	Especificaciones de diseño..	44
2.2.1.4.	Herrajes y otros materiales.....	54
2.2.2.	Mano de obra y presupuesto.....	56
2.2.2.1.	Cálculo de presupuesto.....	61
2.3.	Especificaciones de diseño y obra civil .....	61
2.3.1.	Especificaciones y medidas para la tubería .....	61
2.3.2.	Especificaciones y medidas para cajas de registro ....	63
2.3.2.1.	Cajas tipo ramal .....	63
2.3.2.2.	Cajas tipo remate. ....	66
2.3.2.3.	Cajas de servicios. ....	67
2.3.3.	Especificaciones y medidas para montajes de transformadores .....	68
3.	FASE DE INVESTIGACIÓN.....	71
3.1.	Antecedentes del proyecto .....	71

3.1.1.	Antecedentes de interrupciones en el área .....	72
3.1.1.1.	Frecuencia media de interrupción por kVA (FMIK) .....	74
3.1.1.2.	Tiempo total de interrupción por kVA (TTIK). .....	75
3.1.1.3.	Frecuencia de interrupción de usuario (FIU) .....	76
3.1.1.4.	Tiempo de interrupción de usuario (TIU)..	77
3.1.1.5.	Estimación de pérdidas económicas por interrupciones .....	77
3.1.2.	Análisis técnico-económico .....	78
3.1.2.1.	Historial de fallas en la red de distribución .....	82
3.1.2.2.	Análisis de pérdidas derivadas de fallas e interrupciones .....	84
3.1.2.3.	Análisis técnico-económico considerando costos del proyecto.....	85
3.2.	Investigación en campo .....	86
3.2.1.	Condiciones del terreno.....	86
3.2.2.	Consideraciones para el retiro de la red existente .....	86
3.3.	Propuesta de reconductorado subterráneo. ....	87
4.	FASE DE IENSEÑANZA Y APRENDIZAJE.....	89
4.1.	Inducción a estudiantes del curso de Transmisión y Distribución en la Facultad de Ingeniería, USAC.....	89
4.1.1.	Conferencia Inducción a redes de distribución aérea .	89
4.1.2.	Conferencia Inducción a redes de distribución subterránea.....	89
4.2.	Visita al almacén de AMESA .....	90

4.2.1. Visita a almacén para conocer equipos y conductores.....	90
CONCLUSIONES .....	93
RECOMENDACIONES .....	95
BIBLIOGRAFÍA.....	97
ANEXO .....	99



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Distribución de la energía eléctrica de Guatemala.....	12
2.	Estructura organizacional de la EEGSA .....	13
3.	Cobertura de la EEGSA, por departamentos.....	16
4.	Composición de conductores subterráneos con aislamiento para 15 kV .....	22
5.	Diagrama unifilar configuración en anillo .....	24
6.	Red de distribución eléctrica en Santa Rosalía La Laguna.....	25
7.	Diagrama lineal configuración en anillo .....	27
8.	Barra en cuatro posiciones .....	28
9.	Seccionador monofásico subterráneo bajo carga, con aislamiento para 15 kV .....	29
10.	Codo rompecarga con fusible para cables 1/0 AWG y 4/0 AWG UD para 15 kV .....	30
11.	Fusible limitador de corriente para codo con aislamiento para 15 kV ....	30
12.	Registro monofásico entrada-salida 4/0 y 2 protegido 1/0 .....	31
13.	Registro monofásico entrada 1/0 y protegido 1/0 .....	33
14.	Registro de paso con cuatro servicios para baja tensión .....	35
15.	Registro de paso con una derivación y cuatro servicios .....	37
16.	Registro de paso con dos derivaciones y cuatro servicios.....	39
17.	Registro en remate con cuatro servicios.....	41
18.	Panel frontal abierto mostrando codos rompecarga con pararrayos inserto y conectores para baja tensión .....	47
19.	Transformador tipo pedestal en conexión de paso una fase.....	49

20.	Transformador tipo pedestal en conexión de remate para una fase .....	51
21.	Transformador tipo pedestal en conexión de punto abierto para una fase .....	53
22.	Bajada primaria en poste .....	55
23.	Componentes varios y medidas para bajada primaria en poste .....	62
24.	Vista en planta y medidas para registro de tres barras de dos y tres posiciones .....	64
25.	Vista en planta y medidas para registro monofásico de una barra de dos y tres posiciones .....	65
26.	Vista en elevación de registro tipo "H" .....	66
27.	Vista en planta de registro tipo "H" .....	67
28.	Plataforma de concreto para transformador tipo pedestal de 50 kVA....	68
29.	Plataforma de concreto y tubería para transformador tipo pedestal de 50 kVA.....	69
30.	Transformador montado y conectado .....	70
31.	Área delimitada en cobertura para desrames .....	72
32.	Área delimitada en cobertura para desrames en Santa Rosalía La Laguna .....	73
33.	Visita técnica al almacén de AMESA .....	91
34.	Grupo de estudiantes durante visita técnica a almacén .....	91

## TABLAS

I.	Características eléctricas de conductores subterráneos .....	22
II.	Características físicas de conductores subterráneos .....	23
III.	Materiales eléctricos para registro monofásico entrada-salida 4/0 y 2 protegido 1/0 .....	32
IV.	Materiales eléctricos para registro monofásico entrada-salida 1/0	

	y protegido 1/0 .....	34
V.	Materiales eléctricos para registro de paso con cuatro servicios para baja tensión.....	36
VI.	Materiales eléctricos para registro de paso con una derivación y cuatro servicios .....	38
VII.	Materiales eléctricos para registro de paso con dos derivaciones y cuatro servicios.....	40
VIII.	Materiales eléctricos para registro en remate con cuatro servicios .....	42
IX.	Niveles operativos de tensión para transformadores tipo pedestal de 50 kVA .....	46
X.	Características de aceite de transformador tipo pedestal de 50 kVA .....	47
XI.	Materiales eléctricos para transformador tipo pedestal en conexión de paso una fase.....	50
XII.	Materiales eléctricos para transformador tipo pedestal en conexión remate para una fase .....	52
XIII.	Materiales eléctricos para transformador tipo pedestal en conexión de punto abierto para una fase.....	54
XIV.	Materiales eléctricos para bajada primaria en poste.....	56
XV.	Comparación ventajas y desventajas .....	78
XVI.	Comparación desventajas .....	79
XVII.	Duración de fallas en la red de distribución de Santa Rosalía La Laguna .....	82
XVIII.	Potencia suspendida en la red de distribución de Santa Rosalía La Laguna .....	83
XIX.	Costo directo por energía no suministrada (ENS) .....	84
XX.	Costo por energía no suministrada (ENS) .....	85



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio, unidad de medida para corriente eléctrica
<b>/</b>	Diagonal
<b>\$</b>	Dólar estadounidense
<b>²</b>	Exponencial al cuadrado
<b>°</b>	Grado
<b>K</b>	Kilo, indicador de mil unidades
<b>Q</b>	Moneda guatemalteca, quetzal
<b>N</b>	Newton, unidad de medida para fuerza
<b>#</b>	Numeral
<b>Ω</b>	Ohm, unidad de medida para resistencia eléctrica
<b>%</b>	Porcentaje
<b>&amp;</b>	Signo y
<b>Σ</b>	Sumatoria
<b>VA</b>	Volt Amperio, unidad de medida para potencia aparente
<b>V</b>	Voltio, unidad de medida para voltaje
<b>W</b>	Watt, unidad de medida para potencia real



## GLOSARIO

<b>AAC</b>	<i>(All Aluminium Conductor)</i> Conductor de aluminio 1350-H19.
<b>Aislamiento</b>	Material termoplástico o termoestable, compuesto de polietileno reticulado o de caucho sintético de etileno-propileno de espesor variable según el nivel de tensión al cual va a operar y cuya función es proveer la rigidez dieléctrica necesaria para la operación normal del cable al nivel de tensión especificado.
<b>Alambre</b>	Conductor formado por un solo hilo.
<b>Alimentación en anillo</b>	Es el tramo del circuito subterráneo de distribución que inicia en un punto y regresa al mismo punto, con un punto abierto regularmente a la mitad del mismo y que se conecta al alimentador principal o a una alimentación de otro anillo.
<b>Alimentación radial</b>	Es el tramo del circuito subterráneo de distribución que se conecta al alimentador principal o a una alimentación en anillo.

<b>Alimentador principal</b>	Es la parte del circuito subterráneo con el conductor de mayor calibre, que inicia en poste de transición de la red eléctrica aérea y la red subterránea.
<b>Bajada primaria</b>	Conjunto de dispositivos y herrajes necesarios para hacer la transición de una red aérea a una subterránea.
<b>Bajada secundaria</b>	Conjunto de dispositivos, herrajes y cables necesarios para alimentar una carga o un grupo de cargas en baja tensión 120/240 V.
<b>Boquilla tipo pozo para <i>bushing</i></b>	Receptáculo cilíndrico aislado colocado internamente en la pared frontal del tanque del transformador. La boquilla tipo pozo tiene un tornillo en el interior sobre el que se rosca el <i>bushing</i> del transformador que recibe el codo rompecarga con el objeto de conectar la línea de media tensión al transformador.
<b>Borne</b>	Conector montado en el exterior del transformador en el cual puede sujetarse el extremo de un conductor para conectar el transformador a un circuito independiente al mismo.



<b>BPC</b>	Siglas de bifenilos policlorados que son compuestos organoclorados de fórmula condensada $C_{12}H_{10-n}Cl_n$ donde $n = 1, 2, 3, \dots, 10$ . En inglés se conocen como PCB ( <i>Polychlorinated biphenyls</i> ).
<b>Cable</b>	Conductor formado por varios hilos o alambres trenzados helicoidalmente alrededor de uno central, formando capas.
<b>Cable de Fase</b>	Conductor formado de varios hilos de aluminio trenzados helicoidalmente en capas, sobre un hilo también de aluminio del mismo tipo, tomado como núcleo; aislado con forro de polietileno natural reticulado para 15 kV.
<b>Cable subterráneo</b>	Cable aislado apto por su construcción o por el sistema de protección adoptado en su instalación, para cumplir con las exigencias particulares que resultan de estar colocado bajo el nivel del suelo.
<b>Centro de transformación o bóveda</b>	Espacio asignado para la colocación de los transformadores de distribución sobre el piso y que cuenta con las instalaciones apropiadas para las conexiones eléctricas y para aislarlos del medio exterior.

<b>Circuitos de baja tensión</b>	Los circuitos cuya tensión no excede de 600 V entre cualquier conductor activo y tierra. Los que teniendo su punto neutral conectado a tierra, la tensión entre cualquiera de los conductores activos, resulte inferior o igual a 1000 V.
<b>Circuitos de media tensión</b>	Los circuitos cuya tensión nominal excede los límites de los de baja tensión y es inferior o igual a 13.2 kV.
<b>Conductor</b>	Elemento capaz de permitir el paso de corriente eléctrica a través de su superficie.
<b>Cruzamiento (proximidad vertical)</b>	Es la mínima distancia a ser cumplida por cualquier punto del circuito, respecto a otra instalación de servicios. Siempre que sea posible, los cables de energía eléctrica se instalarán por encima de las canalizaciones de agua y se evitará realizar el cruce por la vertical de las juntas de las canalizaciones de agua o gas, o de empalmes de otras canalizaciones eléctricas.
<b>Devanado primario</b>	Devanado del transformador conectado al lado de la entrada de energía. En un transformador de distribución es el que va conectado a la línea de mayor tensión.

<b>Devanado secundario</b>	Devanado del transformador conectado al lado de salida de energía. En un transformador de distribución es el que va conectado a la línea de menor tensión.
<b>Franja marítima</b>	Área comprendida entre la última estructura de la red del distribuidor que tiene el nivel de voltaje y número de fases que el cliente necesita, hasta una distancia de doscientos metros del punto de entrega o medición o punto de conexión de la instalación a diseñar.
<b>Franja obligatoria</b>	Área comprendida entre la última estructura de la red del distribuidor que tiene el nivel de voltaje y número de fases que el cliente necesita, hasta una distancia de doscientos metros del punto de entrega o medición o punto de conexión de la instalación a diseñar.
<b>Instalación a diseñar</b>	Corresponde a la instalación eléctrica subterránea que se construirá desde los diferentes puntos de carga hasta alcanzar el límite de la franja obligatoria del distribuidor o el punto de conexión.
<b>Interruptor seccionador-fusible</b>	Interruptor (seccionador bajo carga) tripolar, con tres fusibles provistos de percutor de forma tal que la fusión de cualquier fusible accione el percutor produciendo la apertura tripolar del interruptor.

<b>Línea subterránea</b>	Uno o varios cables subterráneos colocados en tuberías de PVC o de acero galvanizado unidas por registros tipo H, con sus correspondientes elementos de unión, protección y apoyo, con el fin de suministrar energía eléctrica a una instalación completa.
<b>Medición primaria</b>	Conjunto de transformadores de potencial y de corriente que dependen del tipo de carga y que son instalados en el poste, para medir la energía en media tensión 13.2 kV.
<b>Mensajero neutral</b>	Conductor formado por varios hilos de cobre trenzados helicoidalmente en una capa, sobre un aislamiento del conductor de aluminio tomado como núcleo.
<b>Paralelismo</b>	Ubicación relativa de un circuito para el transporte o distribución de energía eléctrica con respecto a otra instalación de servicios (telecomunicaciones, agua, televisión, etc.), que siguen la misma ruta pero que no comparten los mismos ductos, y que se encuentran próximos uno a otro en un trecho suficiente con para que el primer circuito pueda producir perturbaciones inductivas en el segundo.
<b>Pérdidas con carga</b>	Son las pérdidas de potencia que se dan en los devanados y entrehierro del transformador con la carga nominal.

<b>Pérdidas sin carga</b>	Son las pérdidas de potencia que presenta el transformador debido a la corriente de excitación cuando opera a circuito abierto, es decir sin carga.
<b>Pérdidas totales</b>	Es la suma de las pérdidas sin carga más las pérdidas de carga en el transformador.
<b>Polaridad aditiva</b>	Cuando la tensión a través de los devanados primario y secundario es mayor que la tensión del devanado primario solo.
<b>Punto de conexión</b>	Es el punto frontera entre la instalación a diseñar y la red del distribuidor.
<b>Punto de enganche</b>	Es el punto que ubica al poste del distribuidor que contiene las características eléctricas que el usuario necesita.
<b>Punto de entrega</b>	Es el punto donde el usuario se conecta a la red de distribución de energía eléctrica del distribuidor.
<b>Punto de medición</b>	Es el punto que cuenta con el equipo eléctrico oficial propiedad del distribuidor, para la medición de la energía de una red particular nueva que se conecta a la red del distribuidor.
<b>Punto extremo</b>	Es el punto que ubica al usuario más lejano de la instalación a diseñar, tomando como referencia el punto de conexión.

<b>REA</b>	Siglas de <i>Rula Electrification Agency</i> .
<b>Red de media tensión subterránea</b>	Líneas de media tensión que parten de las terminaciones exteriores colocadas en postes de la red de distribución aérea y que conduce la energía eléctrica en conductores colocados en ductos o directamente enterrados hacia los puntos de alimentación de transformadores de distribución. Puede ser monofásica, bifásica o trifásica.
<b>Red de media tensión subterránea bifásica</b>	Se denomina así a una instalación de servicio con dos conductores de fase y un neutral, que suministra una potencia eléctrica alterna a una tensión de 13.2 kV.
<b>Red de media tensión subterránea monofásica</b>	Se denomina así a una instalación de servicio con un conductor de fase y un neutral, que suministra una potencia eléctrica alterna a una tensión de 7.62 kV.
<b>Red de media tensión subterránea trifásica</b>	Se denomina así a una instalación de servicio con tres conductores de fase y un neutral, que suministra una potencia eléctrica alterna a una tensión de 13.2 kV.
<b>Registro subterráneo tipo H</b>	Fosa construida con block o prefabricada con dimensiones de un metro por lado, para albergar barras primarias, secundarias, cables y herrajes de la red.

<b>Registro subterráneo tipo tubo</b>	Fosa conformada con un tubo prefabricado de cemento de un metro por un metro de largo.
<b>Transformador de distribución</b>	Es un transformador que transfiere potencia eléctrica de un circuito de mayor tensión (circuito primario) a otro de menor tensión (circuito secundario).
<b>Triplex</b>	Conductor formado por tres cables de fase trenzados entre sí, formando un haz.





## RESUMEN

La reincidencia constante de las interrupciones en el servicio eléctrico, influye directamente en los indicadores de calidad de servicio; esto motiva a prestar especial atención a un área que en particular presente estas circunstancias.

Una vez establecidas las razones por las cuales se ha dado dicho problema, es responsabilidad de quien gestiona la operación y el mantenimiento de la red de distribución, velar por mejorar los índices de calidad y reducir las pérdidas por dichas interrupciones.

El caso en particular de Santa Rosalía La Laguna, debido a que es un área protegida, contiene una densa presencia de vegetación, hecho que afecta directamente a la red en momentos de fuertes vientos, lluvias, o el simple crecimiento natural de ramas que eventualmente toquen líneas energizadas, ya que esto obliga la actuación de las protecciones, desenergizando el área en falla.

Tomando en cuenta las circunstancias y proyectando mejorar la calidad del servicio, evitando interrupciones y, a su vez, promoviendo la conservación del ambiente, se propone un reconductorado subterráneo para toda la red de distribución. Esta acción ayudará a reducir las interrupciones y evitar talas o desrames. El presente documento contiene en síntesis el trabajo de ingeniería referente a investigación y análisis en campo para un proyecto de dicha magnitud.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar el reconductorado subterráneo para la red de distribución eléctrica en Santa Rosalía La Laguna, Santa Catarina Pinula, Guatemala.

### **Específicos**

1. Cuantificar los beneficios económicos y ambientales al utilizar las nuevas tecnologías disponibles para el diseño y construcción de redes de distribución subterránea.
2. Presentar los conceptos generales de diseño para una red de distribución subterránea.
3. Aplicar los conocimientos adquiridos en un proyecto de ejecución real y de mejora económica y ambiental.
4. Dar una inducción referente a redes de distribución subterránea a los estudiantes del curso de Transmisión y Distribución, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación incluye el proceso y todas las especificaciones del reconductorado subterráneo para la red de distribución eléctrica en Santa Rosalía La Laguna, Santa Catarina Pinula, Guatemala. Inicialmente se presentan los antecedentes de la inserción de energía eléctrica, así como la creación y evolución de la Empresa Eléctrica de Guatemala.

En términos generales, el contenido de información se refiere al diseño y proceso de investigación necesaria para respaldar la conversión de una red de distribución aérea a subterránea, la cual consiste básicamente en el cálculo y cuantificación de materiales necesarios, y en la estimación de costos de mano de obra. La cuantificación de materiales considera también el hecho de evaluar los materiales más adecuados para las condiciones, no sólo de terreno sino también de las condiciones eléctricas y de demanda de carga.

Se incluye además una descripción de la inducción a redes de distribución subterránea, presentada a los estudiantes del curso Transmisión y Distribución, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



# **1. ANTECEDENTES DE EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA**

## **1.1. Historia de la empresa**

En Guatemala, Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima, es la principal distribuidora de energía eléctrica; posición que ha alcanzado gracias a un proyecto sólido, rentable y creador de valor, apoyado en una estrategia de crecimiento constante y en el esfuerzo de un equipo de profesionales comprometidos con el objetivo de ofrecer un servicio de la más alta calidad.

### **1.1.1. Primera sociedad**

El 10 de octubre de 1894, por medio de un Acuerdo Gubernativo, el Ministerio de Fomento otorgó a don Enrique Neutze una concesión con el objetivo de aprovechar las cascadas del río Michatoya, cerca de Palín, en el departamento de Escuintla, para producir electricidad, venderla a domicilio y proporcionar alumbrado público en la ciudad capital, Antigua Guatemala, Chimaltenango, Amatitlán, Palín y Escuintla.

El 7 de diciembre de ese mismo año, se constituyó la sociedad anónima Empresa Eléctrica de Guatemala, ante el notario Manuel Montúfar, siendo los socios fundadores: Enrique Neutze, Herman Hoepfner, Federico Gerlach, Víctor Matheu, Antonio de Aguirre y Juan Francisco Aguirre.

La construcción de la obra eléctrica e hidráulica estuvo a cargo de la firma alemana Siemens y Halske. Inicialmente se instalaron generadores para producir 1,000 HP de fuerza. En 1916 la demanda que servía consistía en 25,300 focos de 16 bujías y 577 motores y aparatos con un total de 1,560 HP.

En julio de 1918, el Gobierno de Guatemala intervino la Empresa Eléctrica del Sur. La Electric Bond & Share Co. EBASCO, consorcio de varias compañías norteamericanas dedicadas a la explotación del negocio de energía eléctrica en diversos países del mundo, y que tenía su casa matriz en la ciudad de Nueva York, Estados Unidos, arrendó las propiedades de la Empresa Eléctrica del Sur.

Más tarde, compró las acciones de dicha empresa y de otras dos pequeñas que se llamaban Empresa del Alumbrado Eléctrico del Norte, que sólo suministraba servicio a la parte norte de la ciudad capital y la Empresa Eléctrica de Escuintla, además de extensas fincas en Palín y Escuintla.

En marzo de 1920, el Gobierno de Guatemala vendió a EBASCO 495 acciones de la empresa, pertenecientes a corporaciones o individuos alemanes, a mil dólares cada acción, es decir, un total de US\$495 mil.

En junio de 1921, el representante de los propietarios de las acciones vendidas entregó al Gobierno de Guatemala los títulos o declaraciones de cesión por 494 acciones contra pago de US\$494 mil que se tomaron, según se explica en la respectiva escritura, de lo pagado anteriormente por Electric Bond & Share Co. Posteriormente, el Gobierno entregó a EBASCO los títulos de las acciones.



En mayo de 1922, EBASCO obtuvo un contrato por 50 años. Entonces, comenzó a realizar un extenso programa de nuevas construcciones. Terminó la Planta San Luis, instaló otra en Escuintla (El Modelo) y una más en la finca El Zapote, en la Ciudad de Guatemala

Instaló un nuevo generador en la Planta Palín, construyó también una nueva línea de transmisión entre Palín y la Ciudad de Guatemala. Asimismo, reconstruyó totalmente los sistemas de distribución en las poblaciones en las que ofrecía el servicio. En 1925 la razón social de la empresa se instituye en Empresa Guatemalteca de Electricidad, Inc. En 1926 construyó un nuevo edificio para sus oficinas administrativas (actual edificio de EEGSA, 6ª. Avenida y 8ª. Calle, Zona 1) e introdujo el uso de los medidores eléctricos en los domicilios, promoviendo ampliamente el uso de aparatos eléctricos.

### **1.1.2. Cambio de nombre de la sociedad**

En 1925, la Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima, modificó su razón social a Empresa Guatemalteca de Electricidad, Inc. En 1928, J.M. Cofiño & Co., que era propietaria de la Empresa Eléctrica de Antigua, negoció el contrato que tenía con el Gobierno de la República, en favor de la Empresa Guatemalteca de Electricidad, Inc.

En enero de 1938, el contrato de concesión de la Empresa Guatemalteca de Electricidad, Inc. fue modificado en lo que se refiere a impuestos, no así en su área de servicio, y continuó distribuyendo energía eléctrica en los departamentos de Guatemala, Escuintla y Sacatepéquez.

El 5 de octubre de 1939, por escritura No. 164, del notario Alejandro Arenales Iriondo, la sociedad cambió de nombre y se llamó como hasta la fecha se le conoce, Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima.

### **1.1.3. Primeras generadoras a vapor**

En 1947, Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima, puso en operación las dos primeras unidades de vapor en la central generadora llamada Planta Laguna, en las riberas del lago de Amatitlán, que en años posteriores tuvo gran desarrollo en generación, ya que fueron instaladas otras unidades de mayor potencia.

En 1967, las propiedades de la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. en el área de Palín y Escuintla, conocidas como el Sistema Hidroeléctrico del Río Michatoya, incluyendo las Plantas de Palín, San Luis y El Salto, en Escuintla, fueron vendidas al Gobierno de la República, por la suma de US\$3 millones 186 mil 593 con 88 centavos, coincidiendo con la puesta en operación de la Hidroeléctrica de Jurún Marinalá por parte del Instituto Nacional de Electrificación, INDE.

Hasta 1968, el accionista mayoritario de la Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima era la firma norteamericana América & Foreign Power Company, la que se fusionó con Electric Bond & Share Company. Esta última, en ese mismo año, cambió su nombre a Ebasco Industries Inc. Y, en 1969, se fusionó con la Boise Cascade Corporation.

#### **1.1.4. Creación de sociedad mixta**

El 22 de mayo de 1972 expiró el contrato-concesión de 1922, y el Gobierno de la República, después de casi dos años de negociaciones compró a Boise Cascade Corporation, las acciones que representaban el 91.73 por ciento del capital de la Empresa, por US\$18 millones. Esta transacción quedó legalizada con base en el Decreto 21-72, según escritura No.223 del 18 de mayo del mismo año.

Pero, según el contrato del 9 de mayo de 1923, el Gobierno de la República tenía cinco años más para decidir si autorizaba una nueva concesión a la Empresa Eléctrica, o la daba por terminada totalmente. Esto sucedió el 20 de mayo de 1977, cuando por medio del Acuerdo del Ministerio de Economía, la Empresa fue declarada como sociedad de economía mixta, cuyas acciones quedaron bajo la custodia del Ministerio de Economía.

El 28 de abril de 1983, por medio del Decreto Ley No.42-83, las acciones de la Empresa fueron trasladadas al Instituto Nacional de Electrificación, INDE. En enero de 1995, el INDE trasladó las acciones al Ministerio de Finanzas Públicas, bajo la custodia del Banco de Guatemala. El Ministerio de Finanzas Públicas se hizo representar como accionista mayoritario de la Empresa por el Ministerio de Energía y Minas.

#### **1.1.5. Ley General de Electricidad**

En octubre de 1995, la Empresa se acogió voluntariamente a las disposiciones del actual Código de Comercio y, en Asamblea General Extraordinaria de Accionistas del 25 de julio de 1995, se aprobó el aumento de capital en acciones comunes, hasta la suma Q220 millones.

La Empresa generaba, transportaba y comercializaba energía eléctrica. Sin embargo, en 1996 el Congreso de la República aprobó la Ley General de Electricidad, y luego su Reglamento en 1997 que además de desmonopolizar el sector eléctrico, impide que una misma compañía realice las tres funciones antes mencionadas, al mismo tiempo.

Por esta razón, en la Asamblea General Ordinaria de Accionistas de la Empresa, en marzo de 1997, el representante del accionista mayoritario explicó los lineamientos a seguir para ejecutar el proceso de desincorporación de los Activos de Generación de la Empresa, que para entonces eran Planta Laguna y la Unidad Stewart & Stevenson.

En el proceso de venta realizado en agosto de 1997, mediante un transparente proceso de desincorporación, los activos fueron adquiridos por la firma Guatemalan Generation Group, GGG.

#### **1.1.6. Proceso de capitalización**

En la Asamblea General Ordinaria de Accionistas del 20 de mayo de 1998, el accionista mayoritario informó acerca de los pasos dados en el proceso de capitalización social y venta de las acciones propiedad del Estado, en Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima.

La Comisión de alto nivel que se integró para el proceso de desincorporación de los activos de generación, tuvo a su cargo también iniciar las gestiones para el proceso de la venta de las acciones, a través del Acuerdo Gubernativo 865-97.

El proceso de desincorporación inició con el proceso de elección de un Asesor Financiero y Técnico para la Empresa. Fueron invitadas 42 entidades, se presentaron 9 firmas y precalificaron 6. La selección recayó en el consorcio Salomon Smith Barney Holding Inc.

También se formó una Junta de Notables que colaboró en todo el proceso, para avalar la seriedad y transparencia del proceso.

Se elaboraron después los documentos correspondientes y se realizaron los siguientes eventos: memorándum informativo preliminar, giras de promociones en el extranjero, memorándum de venta y términos de referencia.

De las 30 firmas invitadas a participar en la venta, manifestaron interés 13 y precalificaron 4 consorcios. El 30 de julio de 1998, en un acto público, se declaró oficialmente ganador al consorcio integrado por Iberdrola Energía, S.A., TPS de Ultramar Ltd. y EDP Electricidad de Portugal, S.A. Este consorcio adquirió el 80% de las acciones que el Estado de Guatemala tenía en Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A.

La transacción final se realizó mediante un proceso transparente y exitoso el 11 de septiembre de 1998, donde Iberdrola Energía, S. A., en nombre del consorcio ganador, comunicó quién administraría las actividades de Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.

El desarrollo de este proceso fue calificado como un acto totalmente limpio y transparente que mereció la felicitación de diversos sectores del país.

### **1.1.7. Transformación empresarial**

Tras la culminación del proceso para el traspaso de las acciones en manos del Gobierno, al consorcio ganador del Proceso de Capitalización en 1998, se inician grandes esfuerzos para lograr la transformación interna, cuyo objetivo primordial era convertirse en una empresa líder en el servicio final de electricidad a nivel centroamericano, así como prestar este servicio con los más altos estándares de eficiencia y calidad.

El 13 de abril de 1999, en Asamblea General Ordinaria y Asamblea General Extraordinaria, los nuevos accionistas aprueban la fusión entre Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. y Distribución Eléctrica Centroamericana, DECA.

El 18 de agosto de ese mismo año, fue inscrita en el Registro Mercantil de la República de Guatemala la nueva empresa resultante de la fusión mencionada, con efecto retroactivo al 2 de agosto, siendo el 19 de julio la fecha del edicto en que se firmó la fusión. Esta colocó a Empresa Eléctrica de Guatemala como la primera empresa con fondos propios de Guatemala y la segunda a nivel centroamericano. Aquí se inició el proceso de transformación empresarial de la misma, adoptando una nueva estructura organizativa e inversiones en distintas áreas.

### **1.1.8. Transformación tecnológica**

El 2000 fue denominado como el de la transformación tecnológica. Tras significativas inversiones, la nueva Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A., operada por Iberdrola Energía, S.A., en nombre del consorcio inversor, inició su actividad empresarial con nuevas plataformas de gestión.

Además, se realizaron importantes inversiones en la red de distribución, orientadas principalmente hacia los rubros de expansión y renovación de la red eléctrica, distribución en baja tensión, alumbrado público y sistemas de soporte.

Estas inversiones, aunadas a un eficaz plan de mantenimiento, permitieron mejorar los índices de calidad del servicio, así como atender de mejor manera las necesidades de los consumidores.

En el 2000, y siguiendo con el proceso de transformación de la compañía, se logró la firma del Pacto Colectivo de Condiciones de Trabajo para el período 1999-2002, entre los representantes del Sindicato de Luz y Fuerza de la República de Guatemala y de la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. Este permitió renovar el modelo de relaciones laborales, orientado a la mutua confianza, transparencia y respeto a la dignidad de las personas, reconociendo la contribución de sus miembros a la consecución de sus objetivos.

#### **1.1.9. Consolidación de los procesos del negocio**

El 2001 se constituye como el año de la consolidación de los procesos de negocios. En tal sentido, el esfuerzo más importante de Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A., se centró en el Plan de Sistemas de Información que incluyó la implantación del Sistema de Información Comercial SAP/IS-U, cuya aplicación es específica para empresas distribuidoras de energía eléctrica, después de la exitosa implantación del Sistema de Plataforma de Gestión Administrativa y del desarrollo del Sistema de Información Geográfica de Activos de la Red.

Otros hechos relevantes que se dieron durante el 2001, y que pasan a formar parte de la historia de Empresa Eléctrica de Guatemala son:

- Vigencia de la tarifa social: fue creada según Decreto 96-2000 publicado en el Diario de Centro América el 02 de enero de 2001; tiene el objetivo fundamental de favorecer al usuario regulado del servicio de distribución final con consumos de hasta 300 kWh/Mes o su equivalente a 10 kWh/Día.
- Sistema de conexión en línea con Banco Industrial y Banco G&T-Continental: a partir del 01 de octubre de 2001, Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A., habilitó 248 puntos de recepción de pagos, lugares en los que, además de cancelar facturas por consumo de energía eléctrica, se pueden solicitar copias de facturas y efectuar pagos de reconexiones.
- Nuevo formato de factura: con el fin de brindar información más detallada a los clientes, en cuanto a los consumos y cargos realizados en cada factura, y en cumplimiento a lo estipulado por la Ley General de Electricidad, se diseñó e implementó un nuevo formato de factura, el cual empezó a distribuirse oficialmente en el mes de octubre de 2001.
- Página web: el 13 de noviembre de 2001 se habilitó la nueva página web de Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A., la cual presenta una nueva imagen, dinámica y totalmente actualizada.
- Índices de calidad del servicio técnico: la calidad del suministro se define con base a la valoración de los índices que miden la calidad del servicio técnico, estos son: TTIK o tiempo total de interrupciones por KVA y FMIK o frecuencia media de interrupciones por KVA.



- Indicadores individuales por usuario: FIU frecuencia de interrupción por usuario y TIU tiempo de interrupción del usuario.

No obstante los cambios y constantes mejoras, que forman parte de nuestra historia, EEGSA continúa trabajando y brindando un servicio de inigualable calidad, tanto técnica como comercial.

El 21 de octubre de 2010, el Grupo EPM de Medellín, Colombia adquirió el 80.00% de las acciones de EEGSA, por lo que se constituye en el nuevo socio mayoritario de esta empresa.

## **1.2. Actividades de la Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima**

La actividad principal de Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A. (EEGSA), es la distribución final de energía eléctrica a los habitantes de los departamentos de Guatemala, Escuintla y Sacatepéquez.

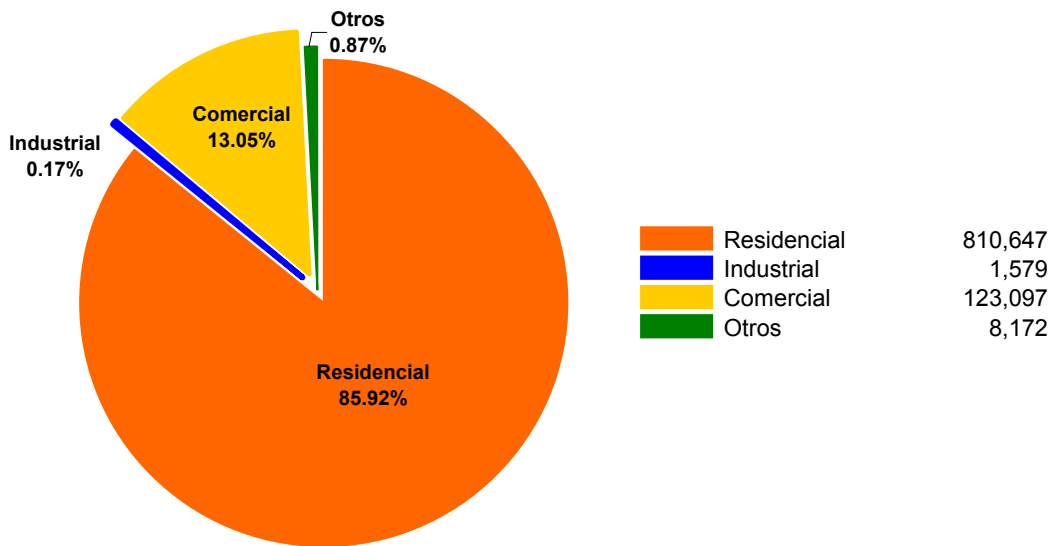
En adición al área de cobertura que atiende, EEGSA tiene autorizada un área adicional, comprendida por los departamentos de Chimaltenango, Jalapa y Santa Rosa.

Parte importante de su actividad principal es mantener un sistema de distribución en óptimas condiciones, para poder llevar el servicio de energía eléctrica a nuevas comunidades y consumidores que lo necesiten.

### 1.2.1. Servicios

Distribución final de energía eléctrica a los habitantes de los departamentos de Guatemala, Escuintla y Sacatepéquez.

Figura 1. **Distribución de la energía eléctrica Guatemala**

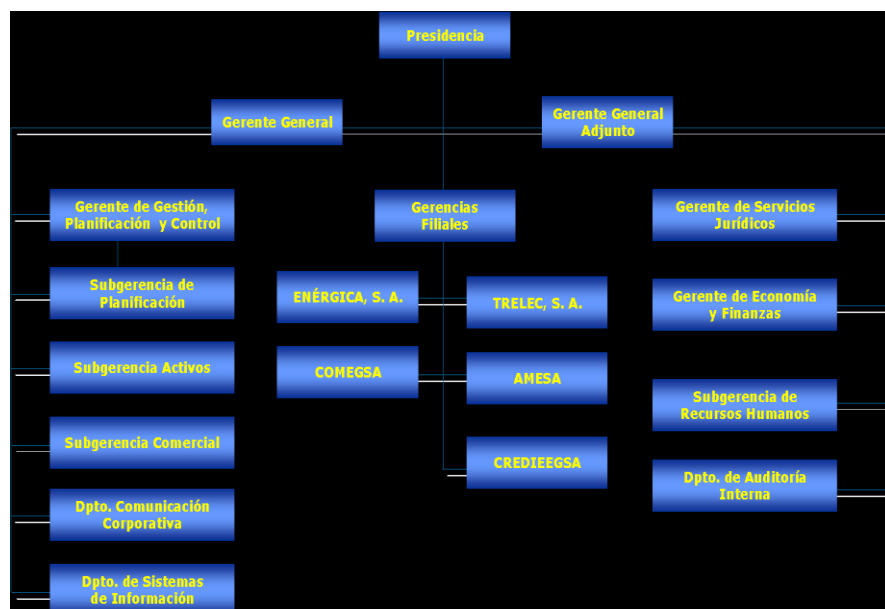


Fuente: elaboración propia. Datos proporcionados por el departamento de comunicación corporativa Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima.

### 1.3. Estructura organizacional

En la siguiente figura se presenta la estructura organizacional de la empresa.

Figura 2. Estructura organizacional de la EEGSA



Fuente: Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima.

### 1.4. Ubicación

EEGSA tiene tres centros de trabajo en el departamento de Guatemala en los que se encuentran ubicadas sus oficinas técnicas y administrativas.

Adicionalmente, tiene a disposición de sus clientes, siete centros de servicio personalizado, ubicados estratégicamente, con el fin de brindar la mejor atención al cliente.

La ubicación exacta y el horario de atención de cada uno de estos centros de servicio, se describe a continuación:

- **Metronorte**  
Kilómetro 5.5 Carretera al Atlántico, Zona 17, Centro Comercial Metronorte, local # 224; atención: lunes a viernes, de 9:00 a 17:00 horas.
- **Unicentro**  
18 Calle Boulevard Los Próceres 5-56, Zona 10 Edificio Unicentro, local # 213; atención: lunes a viernes, de 9:00 a 17:00 horas.
- **Megacentro**  
Calzada Roosevelt 29-60, Zona 7 de Guatemala, Centro Comercial Megacentro, local # 68; atención: lunes a viernes, de 09:00 a 17:00 horas; sábados, de 09:00 a 13:00 horas.
- **Villa Nueva**  
Calzada Concepción y 5ª. Calle, Zona 6 de Villa Nueva, Centro Comercial Plaza Villa Nueva, locales 10 y 11; atención: lunes a viernes de 09:00 a 17:00 horas.
- **Amatitlán**  
Calle Real del Lago, Amatitlán; atención: lunes a viernes, de 07:40 a 16:00 horas.
- **Antigua Guatemala**  
4a. Calle Poniente No. 14, Antigua Guatemala; atención: lunes a viernes de 07:40 a 16:00 horas.

- Escuintla  
Kilómetro 5.5 Carretera a Antigua Guatemala, finca El Modelo, zona 5 de Escuintla; atención: lunes a viernes de 07:40 a 16:00 horas.
- Puerto de San José  
3a. calle y avenida 30 de Junio 2-85 Local "D", nivel 2; atención: lunes a viernes de 09:00 a 17:00 hrs.
- Central  
8a. Calle y 6a. Avenida Esquina, Zona 1 de Guatemala; atención: lunes a viernes, de 07:40 a 16:00 hrs.

#### **1.5. Mercado objetivo**

El mercado objetivo que abarca Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima, corresponde a las áreas de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla, con las especificaciones siguientes:

- 29.5% (3.3 millones de personas) de la población de Guatemala
- 6.4% (6,975 km.<sup>2</sup>) de la extensión geográfica del país
- 95% promedio de electrificación

Figura 3. Cobertura de la EEGSA, por departamentos



Fuente: Departamento de comunicación corporativa Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima.

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

### **2.1. Introducción a las redes subterráneas**

Para los sistemas de distribución, dependiendo de la evaluación que se haga de la confiabilidad y costo del sistema, se toman en cuenta parámetros para lograr diseño adecuado,

Aunque el aspecto económico de los sistemas de distribución subterráneos es mayor que el de los aéreos, estos proporcionan una mayor seguridad contra accidentes y una mayor continuidad de servicio; dado que evitan muchas de las causas que propician interrupciones tales como: contaminación en los aisladores, ramas sobre las líneas, descargas atmosféricas, vandalismos, accidentes diversos y corrosión de partes expuestas al medio ambiente.

Tal es el caso de la red de distribución en el área de Santa Rosalía La Laguna, Santa Catarina Pinula, ya que por estar en un área boscosa considerada área protegida, la contaminación en diversos dispositivos y equipos pertenecientes a la red es alta, ocasionando humedad en los mismos.

A lo anterior se suman las constantes interrupciones debido a cercanía de ramas con las líneas.

## **2.2. Presupuesto**

El cálculo del presupuesto para la realización de cualquier obra en la que se vean afectados elementos de una red de distribución de energía eléctrica, consiste en la evaluación de costos, considerando la selección de personal, equipos y materiales adecuados. En este caso en particular, no sólo se debe considerar la realización de obra civil, sino también tomar en cuenta la canalización de conductores, el montaje de equipos y cajas especiales; debe también considerarse el retiro de la red existente.

Actualmente, en términos generales, la red de distribución existente consiste aproximadamente en:

- Dos cientos diez y siete postes
- Seis bajadas primarias
- Doce bajadas secundarias
- Noventa y siete bancos de transformación
- Setenta y cuatro cajas de registro
- Ciento diez y nueve luminarias

El presupuesto final debe incluir el retiro de la red existente, omitiendo los postes de alumbrado público.

El cálculo y selección de materiales y equipos para una red de distribución subterránea debe realizarse tomando en cuenta todas las características generales y condiciones de campo. Esto con el fin de seleccionar los materiales y equipos adecuados para el caso.



## **2.2.1. Materiales y equipos**

En términos generales, se deben seleccionar los conductores y materiales para cableado subterráneo, los equipos para instalación y seccionalización de ramales y los bancos de transformación.

### **2.2.1.1. Conductores y materiales para instalaciones subterráneas**

Para propósitos de diseño, calidad de materiales y pruebas de manufactura, los conductores que Empresa Eléctrica ha normado, cumplen o exceden la última edición de las normas internacionales listadas, o sus equivalentes, siempre y cuando se haga la aclaración de las diferencias con la norma y/o publicación en referencia, las cuales se listan a continuación:

- ASTM B1. *Specification for hard-draw copper wire.*
- ASTM B2. *Specification for medium-draw cooper wire.*
- ASTM B3. *Soft annealed cooper wire.*
- ASTM B8. *Concentric-Lay-Stranded cooper conductors, hard, medium-hard or soft.*
- ASTM B230. Alambre de aluminio, 1350 J19 para propósitos eléctricos (*Aluminum Wire, 1350-H19 for Electrical Purposes*).

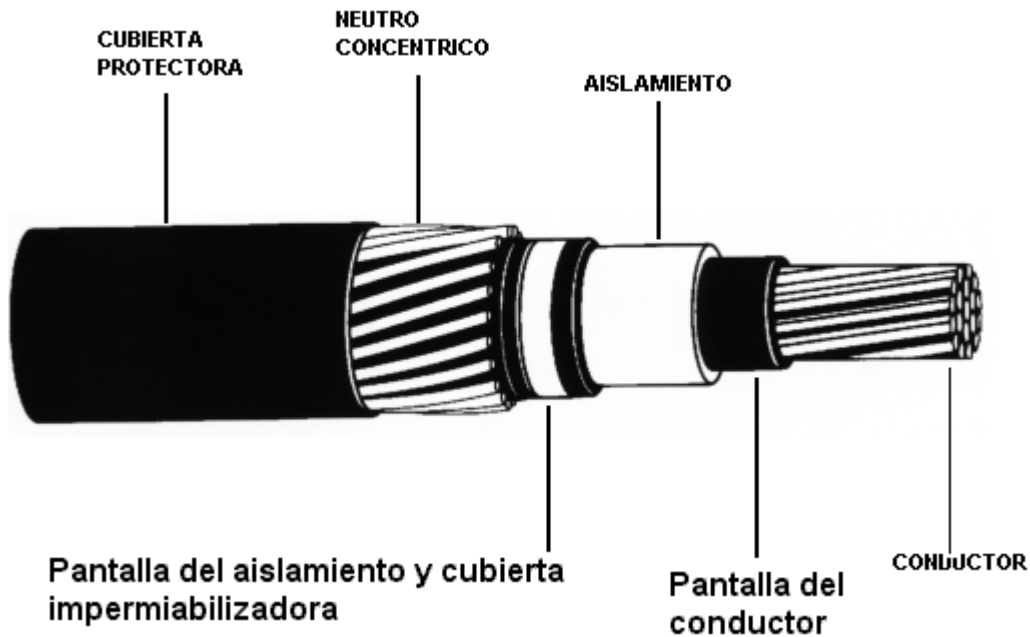
- ASTM B-231. Trenzado concéntrico de conductores de aleación de aluminio 6201-T81 (*Concentric-Lay-Stranded 6201-t81 Aluminum Alloy Conductors*).
- ASTM B-339. Trenzado concéntrico de conductores de aleación de aluminio 6201-T81 (*Concentric-Lay-Stranded 6201-T81 Aluminum Alloy Conductors*).
- ASTM1, IPCEA2 S-61-402. Especificaciones para manufactura de cables múltiplex.
- ANSI/ICEA S-76-447, S-66-524, ICEA S-66-524. Especificaciones estándar para aislamiento de polietileno extraído para cables y alambres para distribución y transmisión de energía eléctrica (*Estándar Specification for Cross-Linked-Thermosetting-Polyethylene-Insulated Wire and Cable for the Transmisión and Distribución of Electrical Energy*).
- AEIC CS5. *Specification for thermoplastic and cross-linked polyethylene insulated shielded power cables rated 5 through 46 kV.*
- AEIC CS6. *Specification for ethylene propylene rubber insulated shielded power cables rated 5 through 68 kV.*
- ICEA S-66-524. *Cross-Linked thermosetting polyethylene insulated wire and cable for the transmission and distribution of electrical energy.*
- ICEA S-68-516. *Ethylene propylene-rubber insulated wire and cable for the transmission and distribution of electrical energy.*

- ICEA P-32-382. *Short circuit characteristic of insulated cables.*
- ICEA P-45-482. *Short circuit performance of metallic shields and sheaths of insulated cables.*
- NE 00.08.01. Clasificación de proveedores y materiales que se instalan en la red de distribución.

Para el diseño de la red de distribución en media tensión (13.2 kV) se consideraron conductores de aluminio, los cuales son forrados con aislamiento para 15 kV para líneas de distribución subterránea y son de tipo AAC, ya sea para un solo conductor con neutral concéntrico: No. 1/0 y 4/0 AWG, o para tres conductores con neutral concéntrico trenzados entre sí formando un haz: No. 1/0 y 4/0 AWG.

Con carácter general, estos conductores cumplen con lo establecido en normas y con las características indicadas en la figura 4 y los datos de las tablas 1 y 2.

Figura 4. **Composición de conductores subterráneos con aislamiento para 15 kV**



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa NE 05.04.02, conductores de aluminio para red subterránea, aislamiento para 15 kV. p.7.

Tabla I. **Características eléctricas de conductores subterráneos**

Conductor	Resistencia DC en $\Omega/\text{km}$ a 20 °C	Peso en kg/m (Lbs/1000pies)	Capacidad de conducción en amperios		Radio mínimo de curvatura mm
			Enterrado	En ducto	
1/0 AWG	0.328	319.73 (705)	218	155	330
4/0 AWG	0.164	505.67 (1 115)	324	230	390
750 MCM	0.0462	843.54 (1 860)	569	468	550
3 No. 1/0 AWG	0.328/Fase	959.19 (2 115)	218/Fase	155/Fase	
3 No. 4/0 AWG	0.164/Fase	1 517 (3 345)	324/Fase	230/Fase	
3 No. 750 MCM	0.0462/Fase	2 531 (5 580)	569/Fase	468	

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Características físicas de conductores subterráneos**

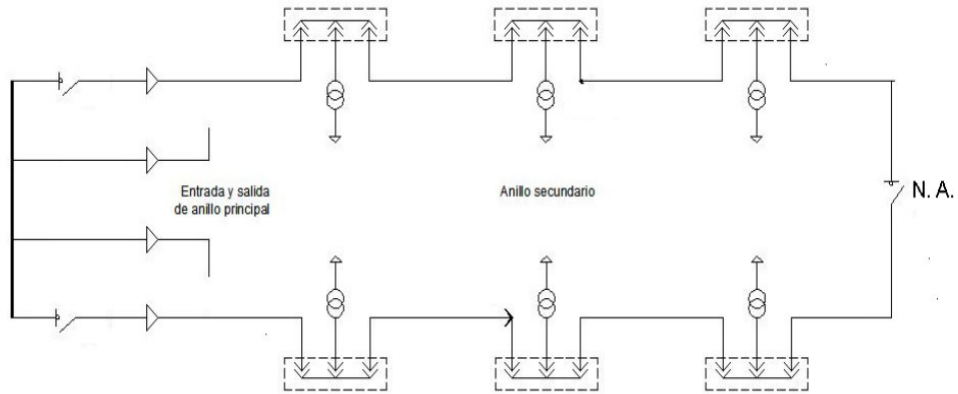
Conductor	No. de hilos	Espesor del aislamiento mm	Diámetro del cable mm	Diámetro con aislamiento mm	Diámetro completo mm	Sección efectiva mm <sup>2</sup>
1/0 AWG	19	4.45	9.19	19.56	28.45	66.33
14 AWG Cu	16					
4/0 AWG	19	4.45	13	23.37	33.15	132.73
12 AWG Cu	20					
750 MCM	61	4.45	24.59	35.56	47.24	475
12 AWG Cu	25					
3 Cables 1/0 AWG, Trenzados formando un haz, diámetro completo aprox.						61.48 mm
3 Cables 4/0 AWG, Trenzados formando un haz, diámetro completo aprox.						71.60 mm
3 Cables 750 MCM, Trenzados formando un haz, diámetro completo aprox.						102.04 mm

Fuente: elaboración propia.

Los datos característicos de cada conductor de las tablas I y II, deben tomarse en cuenta para garantizar que la instalación a diseñar, presente entre el punto de conexión y el punto extremo, una caída de tensión no mayor al 3%.

Por otro lado, el diseño de la red subterránea contempla que con el objeto de garantizar el servicio y reducir el tiempo de interrupción en caso de contingencia, se contará con dos partes de la red en configuración de anillo. Esto significa con doble alimentación y una o más maniobras en la circunferencia del anillo, como lo muestra la figura 5.

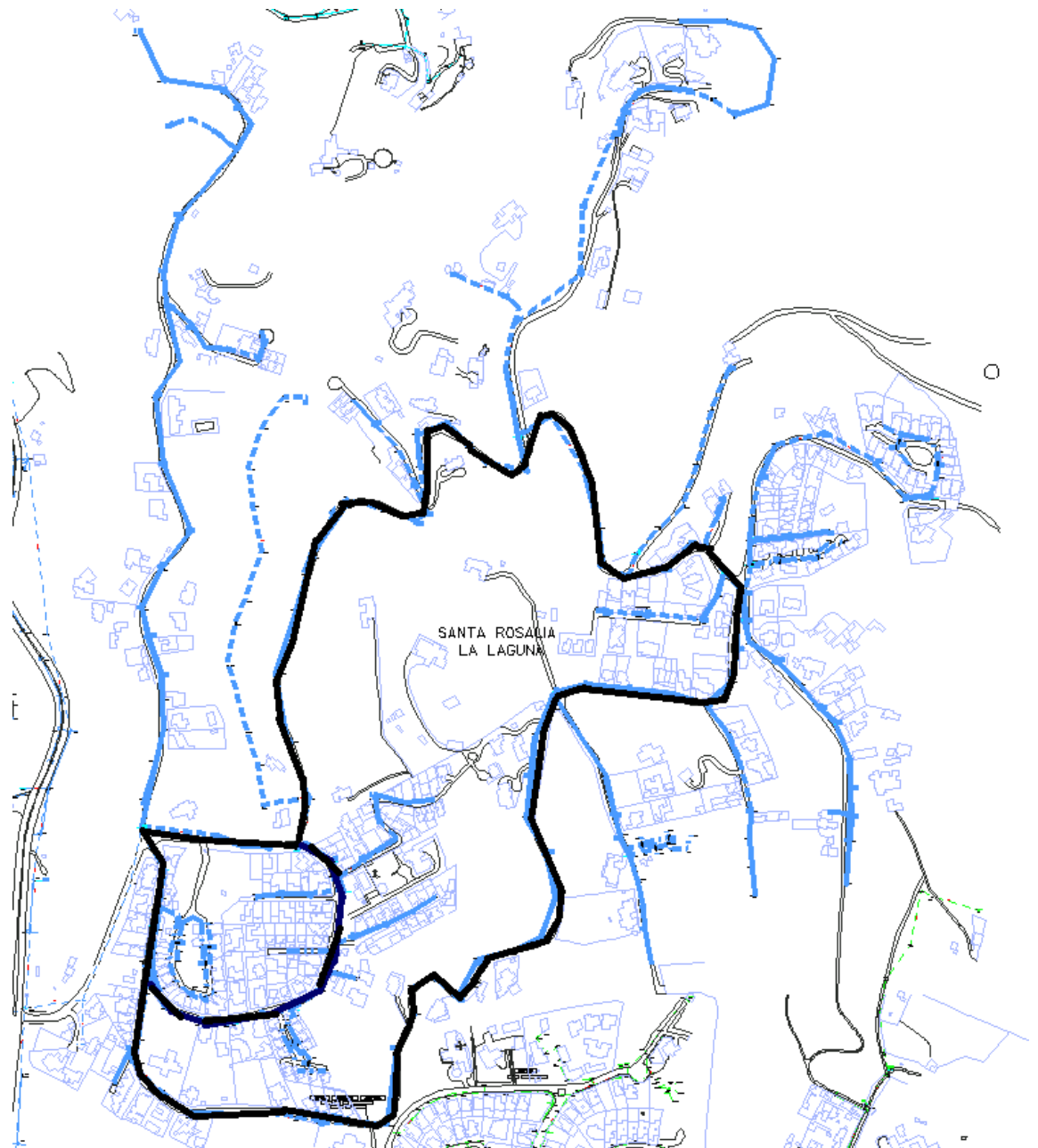
Figura 5. Diagrama unifilar configuración en anillo



Fuente: elaboración propia.

El diseño en configuración anillo se contempla con conductor especial de aluminio calibre 4/0 URD 15 kV; en las partes señalizadas más oscuras en la figura 6.

Figura 6. Red de distribución eléctrica en Sta. Rosalía La Laguna



Fuente: Sistemas gráficos EEGSA.

Los ramales provenientes del anillo principal, indicados con un tono más leve, corresponden a conductores de aluminio calibre 1/0 URD 15 kV y triplex 1/0 URD 15 kV, para los tramos en trifásico.

Los tramos para baja tensión en niveles de 120/240 V y 240/480 V, se contemplan en conductor de aluminio dúplex 4/0 UD 600 V y 2/0 UD 600 V.

### **2.2.1.2. Equipos para instalación subterránea**

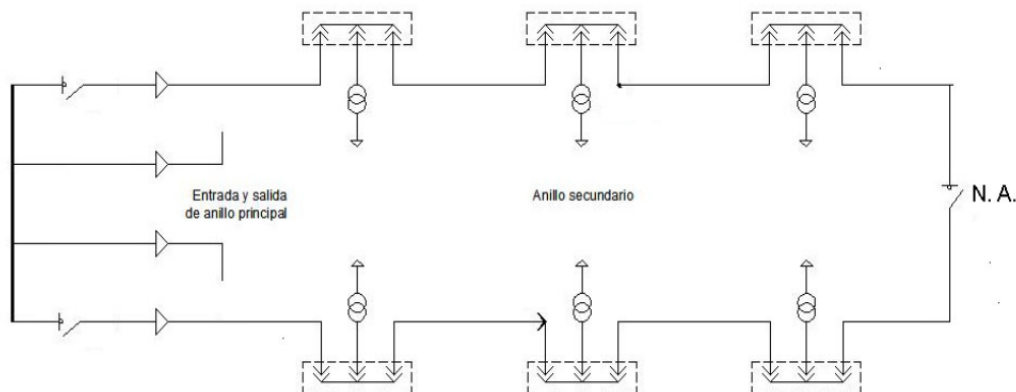
Es de suma importancia para el diseño de una nueva instalación, partir siempre de la estimación de la demanda de energía eléctrica, la cual se determina en función del número y tipo de usuarios que atenderá cada elemento parte de la red.

En algunos casos se estima una carga promedio de 2 kVA por usuario, para un área residencial de alta plusvalía, como lo es Sta. Rosalía La Laguna.

Por otro lado, con el objeto de garantizar la confiabilidad y versatilidad, siempre que sea posible, los ramales que alimentan más de un centro de transformación, serán configurados como anillo, con ambos extremos vinculados a un centro de anillo principal, mediante un equipo de maniobra y protección, como lo muestra la figura 7:



Figura 7. Diagrama lineal configuración en anillo



Fuente: elaboración propia.

Para realizar este tipo de configuración será necesario la construir e instalar equipos correspondientes a las cajas de registro tipo ramal, remate y/o de servicios.

El conductor neutral de la red subterránea será de baja tensión, estará rígidamente a tierra en el centro de transformación y al final de la línea. La resistencia máxima de cada puesta a tierra será:

- |  |                      |
|--|----------------------|
| • Puesta a tierra en centro de transformación                                      | entre 2 y 5 $\Omega$ |
| • Puesta a tierra en el final de la línea  | 10 $\Omega$          |
| • Puesta a tierra de la barra de neutral de los gabinetes de protección y maniobra | 10 $\Omega$          |
| • Puesta a tierra en cada acometida  | 25 $\Omega$          |
| • Distancia máxima entre puestas a tierra  | 200 m                |

### 2.2.1.2.1. Cajas de registro para ramal

El diseño de las cajas de registro para ramal comprende el ingreso de la tubería que contiene los conductores, la barra subterránea de 200 A la cual tendrá por lo menos una posición con aislamiento para 15 kV y a su vez una salida para continuar con el resto de cableado. En la figura 8 es posible apreciar una barra subterránea de 100 A, con dos salidas en derivación, todo protegido con aislamiento para 15 kV. La conexión de entrada y salida de la barra subterránea se realiza por medio de un codo convencional.

Figura 8. **Barra de cuatro posiciones**



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 95.

Como se mencionó anteriormente, y con el objeto de garantizar una mejor calidad de servicio y una continuidad en el mismo, como norma general y para construcciones en configuración en anillo, las salidas de ramales son protegidas, cada una, con un seccionador monofásico subterráneo de diseño especial para ser abierto bajo carga y con aislamiento para 15 kV. Equipo que se muestra en la siguiente figura 9.

Figura 9. **Seccionador monofásico subterráneo bajo carga, con aislamiento para 15 kV**



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 95.

Este tipo de equipos facilitan la construcción y operación de una red en configuración en anillo, ya que por su versatilidad para ser maniobrados bajo carga, garantizan una mejor respuesta en caso de contingencia.

Considerando que la barra subterránea mostrada anteriormente se utilizará como alimentador de dos ramales convencionales, estos a su vez deberán estar protegidos, para que en caso de falla, la misma sea aislada de forma individual sin comprometer el resto de la red.

Para dicho propósito se cuenta con codos con fusibles limitadores de corriente con aislamiento para 15 kV, los que se muestran en las figuras 10 y 11.

Figura 10. **Codo rompecarga con fusible para cables 1/0AWG Y  
4/0AWG UD para 15kV**



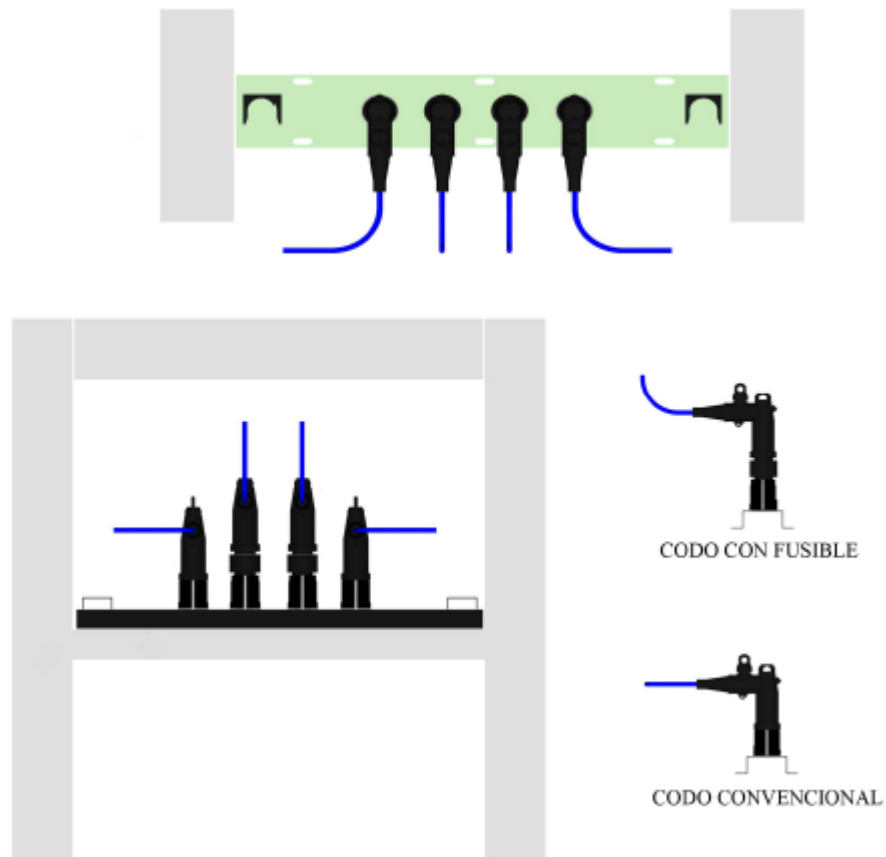
Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2kV. p. 91.

Figura 11. **Fusible limitador de corriente para codo con  
aislamiento para 15kV**



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 91.

Figura 12. **Registro monofásico entrada-salida 4/0 y 2 protegido 1/0**



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 50.

La configuración mostrada anteriormente en la figura 12, muestra cómo debe quedar construido una caja de registro monofásico entrada y salida 4/0 AWG y 2 protegidas 1/0 AWG. Para el caso de configurar una red trifásica sería la misma construcción tres veces, para lo cual solo varía la configuración de obra civil.

Los materiales para la construcción de una configuración como la ejemplificada anteriormente, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla III. **Materiales eléctricos para registro monofásico entrada-salida 4/0 y 2 protegido 1/0**

Descripción	Cantidad
Barra 4 Pos	1
Codo 4/0 Conv	2
Codo 1/0 C/Fus	2
Bushing	4
Inserto	
Depende capacidad del transf.	2
Fusible	
6 amperios	
10 amperios	
18 amperios	
25 amperios	
30 amperios	
45 amperios	

Fuente: elaboración propia.

Para cualquier caso en particular, el amperaje de los fusibles dependerá de la capacidad de los transformadores en las derivaciones de la barra subterránea.

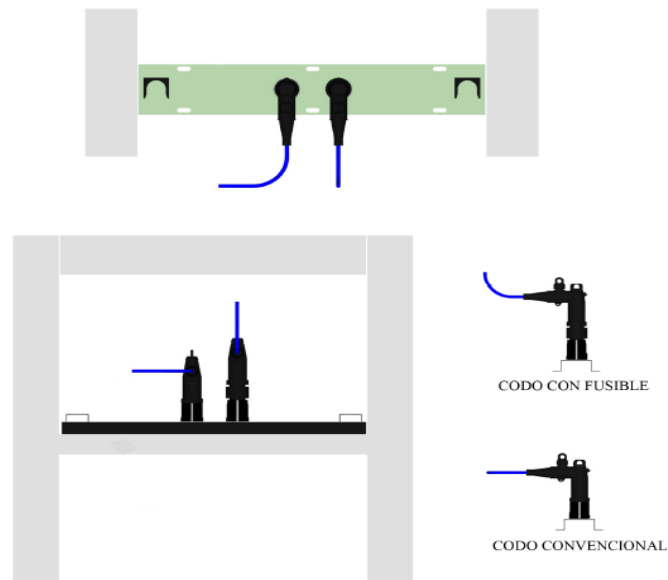
Cabe mencionar que para el diseño de la red de distribución subterránea para Santa Rosalía La Laguna se utilizan diversas configuraciones para cajas de registros tipo ramal.

En resumen, los materiales y equipos mencionados cumplen para cualquier configuración de registro monofásico o trifásico, si se diera la necesidad, pudiendo llegar a tener un máximo de 4 salidas protegidas. Por supuesto, los materiales correspondientes a los ramales protegidos se multiplicarían por dos, partiendo del ejemplo anterior, y por tres, en el caso de ser una red trifásica.

#### 2.2.1.2.2. Cajas de registro para remate

En este tipo de configuración se utiliza una barra subterránea de dos posiciones, la cual sirve para recibir la alimentación y sacar un ramal en derivación. La alimentación es conectada mediante un codo convencional y su ramal, mediante un codo con fusible, como se muestra en la figura 13:

Figura 13. **Registro monofásico entrada 1/0 y protegido 1/0**



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 46.

Los materiales para la construcción de una configuración como la ejemplificada anteriormente, se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla IV. Materiales eléctricos para registro monofásico entrada 1/0 y protegido 1/0**

Descripción	Cantidad
Barra 2 Pos	1
Codo 1/0	2
Conv	1
Codo 1/0	2
C/Fus	
Bushing	
Inserto	1
Depende capacidad del transf. Fusible	
6 amperios	
10 amperios	
18 amperios	
25 amperios	
30 amperios	
45 amperios	

Fuente: elaboración propia.

De igual forma que para una configuración en ramal, el amperaje del fusible dependerá directamente de la capacidad del transformador que se instalará aguas abajo. Los registros de tipo trifásico cuentan con los mismos materiales multiplicados por 3.

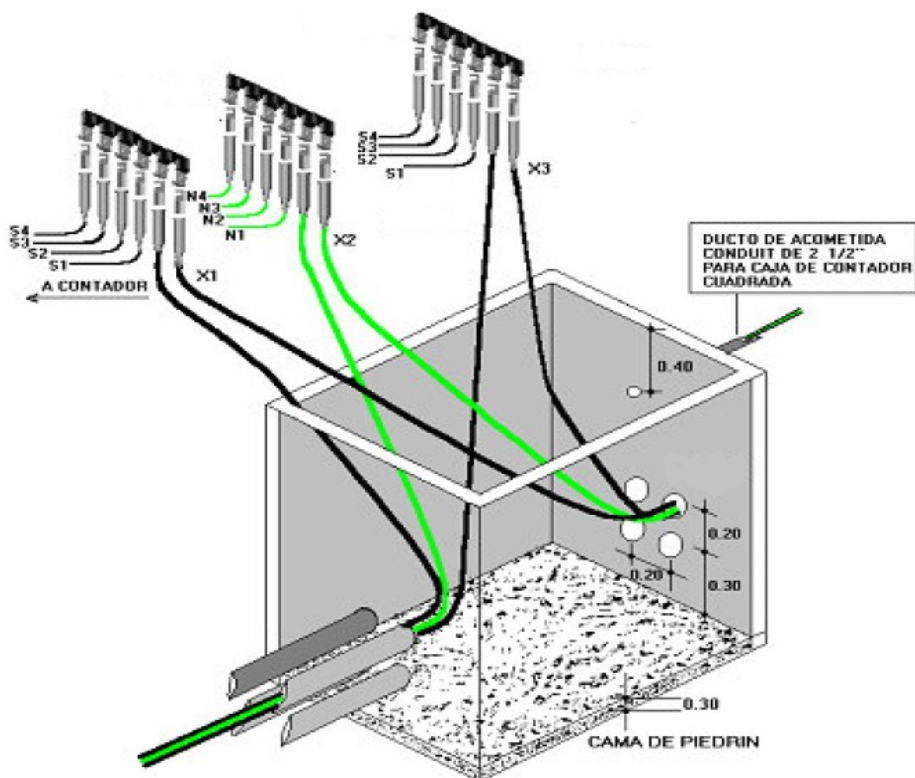


### 2.2.1.2.3. Cajas de registro para servicios

En el caso de las cajas de servicios y de bajo voltaje, existe una gama de configuraciones posibles dependiendo de las necesidades que presente la construcción. Pero en resumen se podrían categorizar en los siguientes:

- Registro secundario de paso con servicios: la siguiente figura muestra una caja de registro de paso con cuatro servicios; las medidas especificadas son en metros

Figura 14. Registro de paso con cuatro servicios para baja tensión



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT Y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 58.

Los materiales correspondientes a la configuración de registro de paso con cuatro servicios, se detallan en la siguiente tabla:

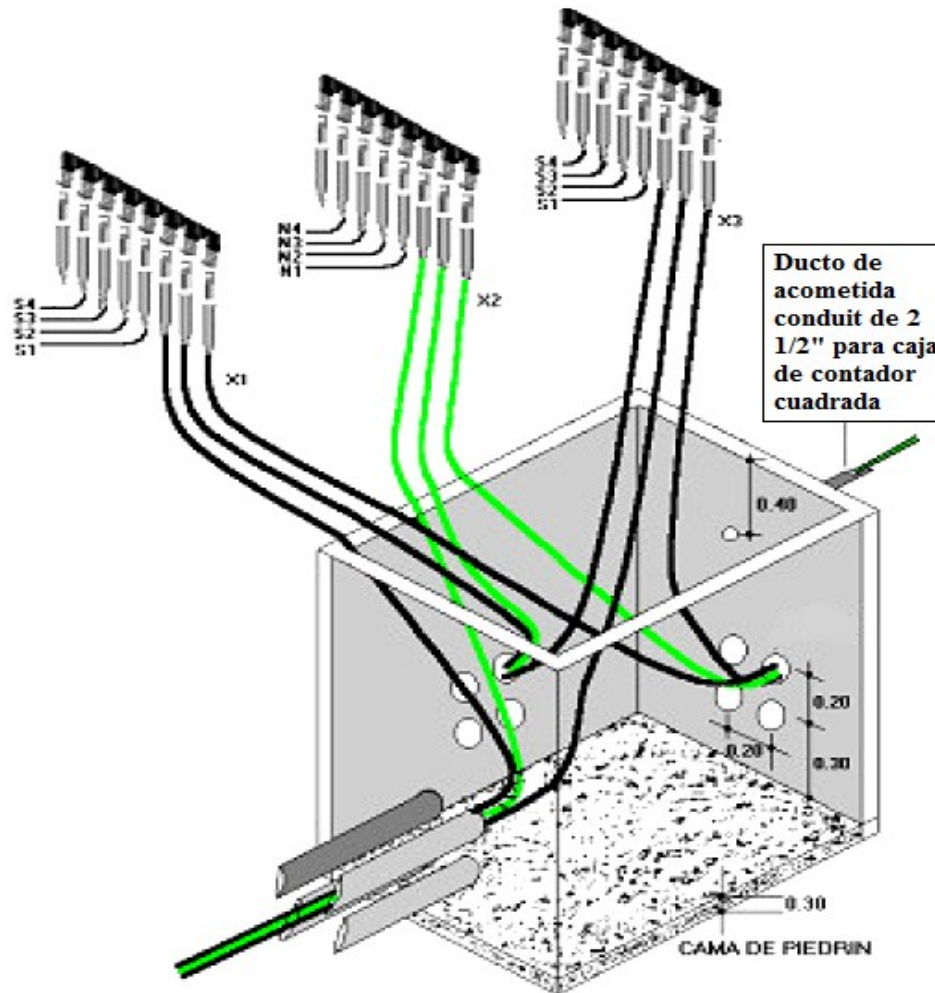
Tabla V. **Materiales eléctricos para registro de paso con cuatro servicios para baja tensión**

<b>MATERIAL</b>	<b>CANT.</b>
<b>CABLE DE AL. ENTORCHADO 2 No. 33.63 mm<sup>2</sup> Y 1 No. 19.63 mm<sup>2</sup> ( 2 No. 2 , N 4 )</b>	<b>80</b>
<b>BASES DE HULE DE 8 POSICIONES UPC. 80</b>	<b>3</b>
<b>TAPONES CONICOS DE MADERA DE 5''</b>	<b>12</b>

Fuente: elaboración propia.

- Registro secundario de paso con un ramal y servicios: es una configuración que además de permitir el ingreso y salida de los conductores permite también una tercera salida para alimentar otro ramal además de los servicios propios de la caja de registro. Dicha configuración se muestra en la figura 15:

Figura 15. Registro de paso con una derivación y cuatro servicios



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p.67.

La figura 15 muestra una caja de registro de paso con un ramal y cuatro servicios, y uno libre para algún futuro usuario; las medidas especificadas son en metros. Los materiales correspondientes a la configuración de registro de paso con un ramal y cuatro servicios se detallan en la siguiente tabla.

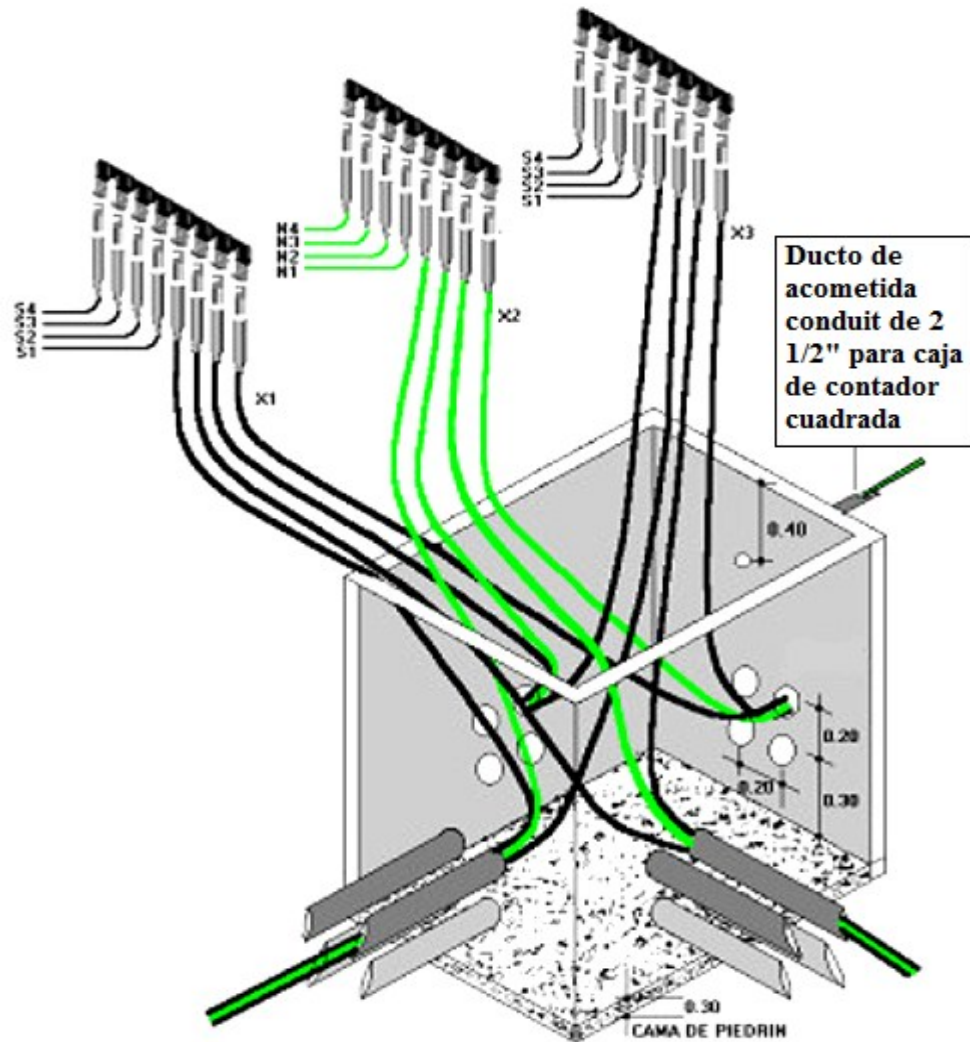
Tabla VI. **Materiales eléctricos para registro de paso con una derivación y cuatro servicios**

<b>MATERIAL</b>	<b>CANT.</b>
<b>CABLE DE AL. ENTORCHADO 2 No. 33.63 mm<sup>2</sup> Y 1 No. 19.63 mm<sup>2</sup> ( 2 No. 2 , N 4 )</b>	<b>80</b>
<b>BASES DE HULE DE 8 POSICIONES UPC. 80</b>	<b>3</b>
<b>TAPONES CONICOS DE MADERA DE 5''</b>	<b>12</b>

Fuente: elaboración propia.

- Registro secundario de paso con dos ramales y servicios: es una configuración que además de permitir el ingreso y salida de los conductores, también dispone de dos salidas más para alimentar otros ramales, además de los servicios propios de la caja de registro. Dicha configuración se muestra en la figura 16, en la cual puede apreciarse una caja de registro de paso con dos ramales y cuatro servicios. Las medidas especificadas son en metros.

Figura 16. Registro de paso con dos derivaciones y cuatro servicios



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 73.

Los materiales correspondientes a la configuración de registro de paso con dos ramales y cuatro servicios se detallan en la siguiente tabla:

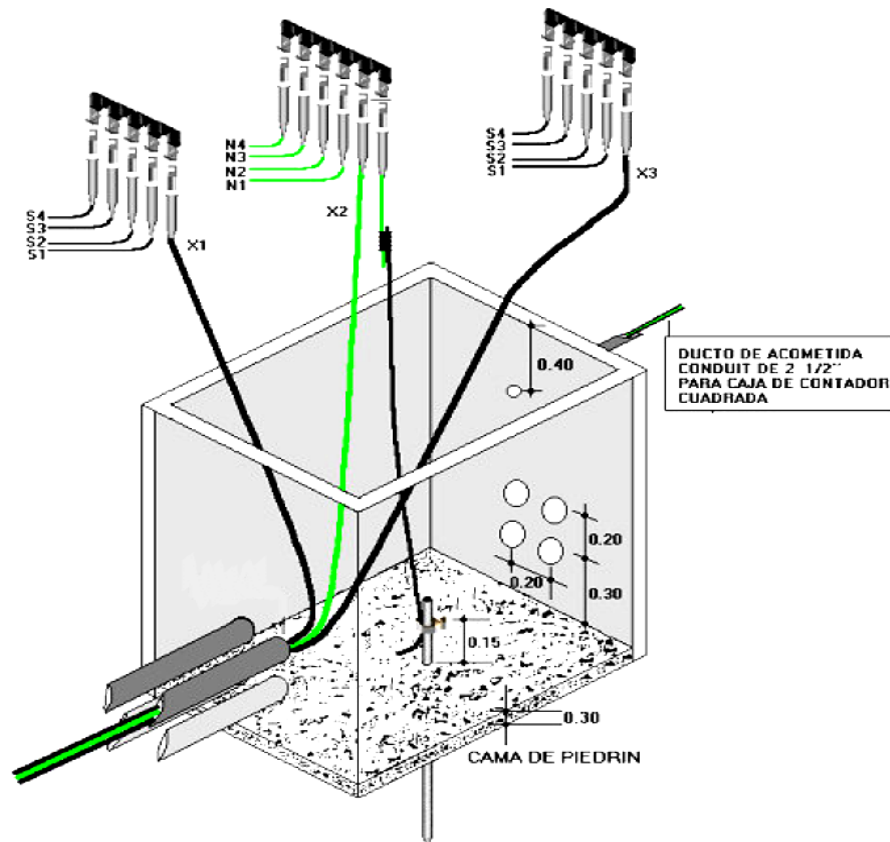
Tabla VII. **Materiales eléctricos para registro de paso con dos derivaciones y cuatro servicios**

<b>MATERIAL</b>	<b>CANT .</b>
<b>CABLE DE AL. ENTORCHADO 2 No. 33.63 mm<sup>2</sup> Y 1 No. 19.63 mm<sup>2</sup> ( 2 No. 2 , N 4 )</b>	<b>80</b>
<b>BASES DE HULE DE 8 POSICIONES UPC. 80</b>	<b>3</b>
<b>TAPONES CONICOS DE MADERA DE 5´´</b>	<b>16</b>

Fuente: elaboración propia.

- Registro secundario de remate con servicios: es una configuración que además de permitir el ingreso de los conductores, posee también una puesta a tierra, además de los servicios propios de la caja de registro. Dicha configuración se muestra en la figura 17. En esta puede apreciarse una caja de registro de remate y cuatro servicios. Las medidas especificadas son en metros.

Figura 17. Registro en remate con cuatro servicios



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 79.

Cada una de las opciones anteriormente mencionadas, pueden variar de uno a ocho servicios, siendo las más comunes de cuatro servicios. Permitiendo así contar con opciones diferentes para trabajar con el nivel de baja tensión en 120/240V o 240/480V según sea la necesidad de la instalación o cliente. Los materiales correspondientes a la configuración de la caja de registro tipo remate con cuatro servicios se detallan en la siguiente tabla:

Tabla VIII. **Materiales eléctricos para registro en remate con cuatro servicios**

MATERIAL	CANT.
CABLE DE COBRE SIN FORRO No. 21.2 mm <sup>2</sup> ( 4 ) metros	2
CABLE DE AL. ENTORCHADO 2 No. 2 N. No. 4 URD PARA 600 V.	80
CONECTOR DE COMPRESION WR 159	1
GRAPA T -- A PARA VARILLA DE TIERRA	1
VARILLA PARA CONEXIÓN A TIERRA	1
BASE DE HULE DE 5 POS. UPC. 50	2
BASE DE HULE DE 6 POSICIONES UPC -- 60	1
TAPONES CONICOS DE MADERA DE 5"	8

Fuente: elaboración propia.

### 2.2.1.3. Transformadores tipo Pad-Mounted

Los transformadores de distribución tipo Pad-Mounted son diseñados para servicio subterráneo y exterior, montados sobre una base de concreto. El transformador es armado con los compartimientos de alta y baja tensión, separados y equipados con puertas frontales.

Para propósitos de diseño, calidad de materiales, pruebas y normas de fabricación, los transformadores de distribución a utilizar en el diseño de la red de distribución subterránea en Santa Rosalía La Laguna, cumplen con las últimas revisiones aprobadas de las siguientes normas y publicaciones:

- ANSI C57.12.25: *“Requirements for pad-mounted, compartmental type, self cooled single phase, distribution transformers with separable insulated high voltage connectors. High voltage: 34,500 Gdr Y/19,920 volts and below. Low voltage: 240/120 volts; 167 kVA and smaller”* (Requerimientos para transformadores de distribución monofásicos, tipo pedestal en



armario, auto enfriado, con conectores primarios aislados enchufables. Voltaje primario 34,500 V Gdr Y/19,920 voltios y menores. Voltaje secundario: 240/120 voltios, 167kVA y menores).

- ANSI/IEEE 386. “*Separable insulated connectors for power distribution systems above 600Volts*” (Conectores aislados enchufables para sistemas de distribución de potencia superiores a 600 voltios).
- ANSI C57.12.80. “*Terminology for transformers, regulators, reactors and rectifiers*” (Terminología para transformadores, reguladores y rectificadores).
- ANSI C57.12.00. “*General requirements for liquid-immersed distribution power and regulating transformers*”. (Requerimientos generales para transformadores de distribución de potencia y de regulación inmersos en líquidos).
- ANSI C57.100. “*Test procedure for thermal evaluation of oil-immersed distribution transformers*” (Procedimiento para prueba de evaluación térmica de transformadores de distribución inmersos en aceite).
- ANSI C57.106-1977. “IEEE guide for acceptance and maintenance of insulating oil equipment” (Guía de IEEE para la aceptación y para el mantenimiento del aceite dieléctrico en equipos).

El acrónimo “ANSI” arriba indicado se refiere a: American National Standard Institute.

### 2.2.1.3.1. Especificaciones de diseño

Los transformadores de distribución tipo pedestal especificados para estos trabajos, se instalan a la intemperie, en centros de transformación que deben soportar condiciones de niebla salina, clima cálido y húmedo, lluvia y granizo y ser sometidos a condiciones ambientales tales como las siguientes:

- Temperatura máxima: 43°C
- Temperatura media anual: 23°C
- Temperatura mínima: -5°C
- Humedad relativa del ambiente: 100% con elevada salinidad
- Altitud de instalación: 0 – 2000 m.
- Nivel de salinidad: 80 kg/m<sup>3</sup>

Las condiciones eléctricas que deberán soportar los transformadores para este tipo de instalación y para las que son construidos según norma establecida, son:

- Tensión nominal de la red: 13.2 Gdr Y/7.62kV
- Tensión máxima de servicio: 14kV
- Corriente de cortocircuito simétrico presumible: 13.2 – 8.8 kA
- Sistema Trifásico 4 alambres
- Neutro Rígidamente a tierra

Los transformadores tipo pedestal tienen como característica particular que cada uno de los extremos del devanado primario sale a través de la parte frontal del tanque por medio de dos boquillas tipo pozo para *bushing*.

En el lado primario cuentan con un fusible limitador de corriente tipo bayoneta, el cual está montado internamente y en serie con la línea de media tensión, para proteger al transformador en caso de fallas internas. Además de esta protección se debe agregar dispositivos adicionales que se conectan externamente, tales como: pararrayos, cortacircuitos y conexión a tierra.

Están constituidos por el tanque o cuba y los compartimientos de salida en media y baja tensión, ubicados en el frente del tanque. El tanque y los compartimientos de salida son ensamblados como una unidad integral, adecuada para instalarse en una plataforma rígida de concreto y que debe ser herméticamente sellada a la entrada de agua y humedad. En general, la construcción e integridad del gabinete debe cumplir con lo establecido por los requerimientos de diseño y métodos de prueba de la norma NEMA TRI, según muestra la figura 18.

En transformadores trifásicos el compartimiento de alto voltaje no es accesible mientras la puerta del compartimiento de baja tensión esté abierta.

El compartimiento de baja tensión tiene una provisión para que el usuario instale un candado para seguridad. Todas las partes vivas se encuentran en compartimientos totalmente bloqueados adecuadamente por seguridad. Una cubierta sobre la toma del tanque es accesible a través del gabinete y proporciona la protección contra daños por vandalismo y el medio ambiente. Para el caso de la red de distribución subterránea de Sta. Rosalía La Laguna, los transformadores a utilizarse serán de tipo monofásico, por lo que solo cuentan con una compuerta de apertura, la cual deja al descubierto tanto los cables del primario como los del secundario, como se muestra en la figura 18.

Los conectores de alta y baja tensión son los que se muestran cumplen con las características que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla IX. Niveles operativos de tensión para transformadores tipo pedestal de 50 kVA**

<b>Tensión asignada (Voltios)</b>	<b>Tensión más elevada Para el material (kV)</b>	<b>Nivel de aislamiento al impulso (kV)</b>
13,200 Y/7,620 V	13.97	95
480/240 V	1.2	30
240/120 V	1.2	30

Fuente: elaboración propia.

Para la conexión de la línea subterránea de media tensión al transformador, este está provisto de dos boquillas aisladas tipo pozo que se ubican en la parte interna de la pared frontal del tanque. Estas boquillas tienen por objeto servir de receptáculo al *bushing* del transformador, y para el efecto deberán contar con un tornillo en el fondo del mismo.

El *bushing* del transformador va roscado en el tornillo interno de la boquilla, es de hule premoldeado y su función es recibir al codo rompecarga, con el objeto de conectar la línea de media tensión al transformador, como se muestra en la figura 18.

Figura 18. **Panel frontal abierto mostrando codos rompecarga con pararrayos inserto y conectores para baja tensión**



Fuente: elaboración propia.

El aceite del transformador es mineral refinado tipo II, inhibido a los ácidos, con un 0.15% mínimo de inhibidor añadido (DBPC: Ditary-butyl-paracresol). La acidez del aceite es tal que 5mm<sup>3</sup> con 1mg. de KOH, debe presentar color lila, además de que cumple con las siguientes características:

Tabla X. **Características de aceite de transformador tipo pedestal de 50k VA**

Propiedad	Magnitud o calidad
Tensión de ruptura del dieléctrico	30 kV mínimo
Condición visual	Claro (valor 0.5)
Contenido de agua	15 ppm máximo
Contenido de BPB **/	Menos de 2 ppm
Factor de potencia a 100 °C	1.0 % máximo
Tensión interfacial	4.0 mN/m mínimo

Fuente: elaboración propia.

Cada transformador posee una placa de acero inoxidable cuya leyenda es en idioma español y contiene como mínimo con los siguientes datos:

- Nombre del fabricante
- Tipo o modelo
- Lugar y año de fabricación
- Número de serie
- Capacidad del transformador en kVA
- Tensión primaria en voltios
- Tensión secundaria en voltios
- Polaridad
- Información sobre las derivaciones
- Peso del transformador en N. (lbs.)
- Diagrama de conexiones
- Nivel básico de aislamiento al impulso en kV
- Corriente nominal en el lado secundario en amperios
- Impedancia en por ciento
- Material del conductor en cada devanado
- Nombre genérico del tipo de aceite dieléctrico
- Número de la orden de compra
- Propiedad de: Empresa Eléctrica de Guatemala

Todos los transformadores a utilizarse para el diseño de la red de distribución en Sta. Rosalía La Laguna son monofásicos tipo pedestal de 50kVA por lo que sus pérdidas máximas permisibles son:

- Sin carga: 125 W
- Con carga: 410 W

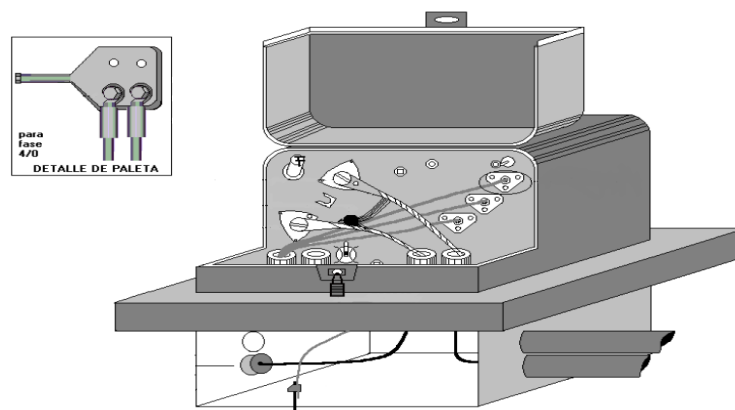
- Totales: 535 W

Según sea la necesidad los transformadores serán colocados en configuración:

- De paso: para los casos en los que la canalización continúa con voltaje de distribución primario en 13.2kV.
- De remate: para los casos en que la canalización de conductores continúa solo para baja tensión en 120/240V o 240/480V.
- De punto abierto: para realizar conexiones entre puntos abiertos o anillos en 13.2kV.

La configuración de transformador monofásico tipo pedestal de 50kVA para una instalación de paso, es como se presenta en la siguiente figura 19:

Figura 19. **Transformador tipo pedestal en conexión de paso una fase**



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 81.

El acceso al compartimiento de salida es por medio de una puerta abatible, la cual es asegurada por no menos de dos bisagras y abre hacia arriba. A estar la puerta cerrada no permite aperturas por las que puedan introducir objetos extraños como palos, varillas o alambres que puedan entrar en contacto con partes vivas o dañar los terminales.

Para la configuración de paso en un transformador monofásico tipo pedestal de 50kVA se utilizan los siguientes materiales:

Tabla XI. **Materiales eléctricos para transformador tipo pedestal en conexión de paso una fase**

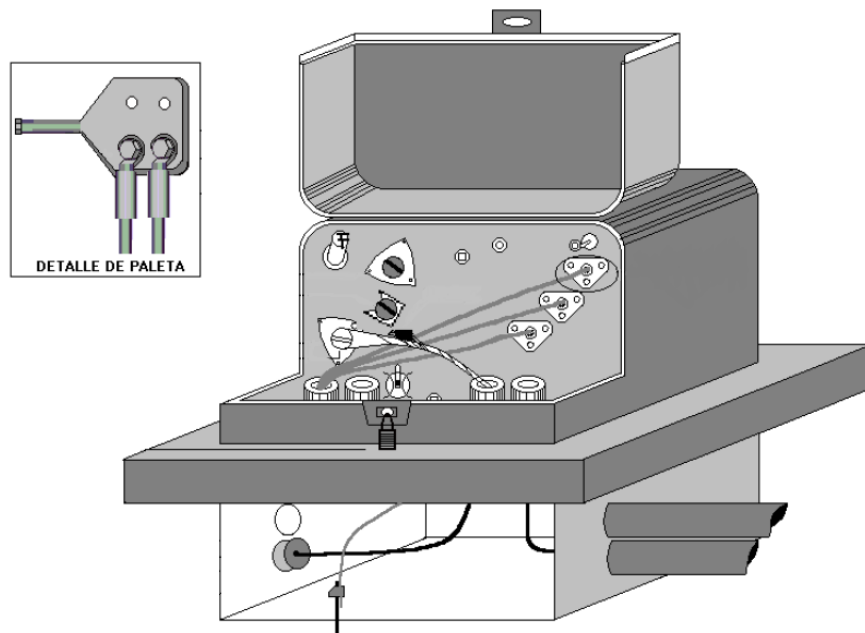
MATERIAL	CANT.
CABLE DE COBRE No. 21.2 mm <sup>2</sup> ( 4 )	2
CONECTOR UNIVERSAL PARA No. 21.2 mm <sup>2</sup> ( 4 )	4
COBRE	1
GRAPA "T - A " PARA VARILLA DE TIERRA	1
TERMINAL DE COMPRESION AISLADO PARA 78.65 mm <sup>2</sup> ( 2/0 )	2
	3
TERMINAL DE COMPRESION AISLADO PARA No. 107.2 mm <sup>2</sup> ( 4/0 )	3
	1
TORNILLO DE BRONCE DE 12.7 x 57.15 mm ( ½" x 2 ¼" )	3
	2
TUERCA DE BRONCE DE 12.7 mm ( ½" )	2
VARILLA PARA CONEXIÓN A TIERRA	4
ARANDELA DE PRECION DE ACERO DE 12.7 mm ( ½" )	1
BUSHING CAT. JLB - 2 -- B -- 2	
CODO ROMPE CARGA PARA No. 1/0 , 15 KV. URD.	
TAPON CONICO M-127.0 mm / (5" ) B. SUP. 88.9 mm ( 3 ½" ) INF. 107.95 mm ( 4 ¾" )	
CANDADO MASTER No. 2 REG. 2359	

Fuente: elaboración propia.



La configuración de transformador monofásico tipo pedestal para una instalación en remate es como se muestra en la siguiente figura 20:

**Figura 20. Transformador tipo pedestal en conexión de remate para una fase**



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 85.

Al igual que para la configuración de tipo paso, en la configuración en remate, el acceso al compartimiento de salida es por medio de una puerta abatible, la cual es asegurada por no menos de dos bisagras y abre hacia arriba.

Al estar la puerta cerrada no permite aperturas por las que se puedan introducir objetos extraños como palos, varillas o alambres que entren en contacto con partes vivas o dañar los terminales.

Para la configuración de remate en un transformador monofásico tipo pedestal de 50kVA se utilizan los siguientes materiales:

Tabla XII. **Materiales eléctricos para transformador tipo pedestal en conexión remate para una fase**

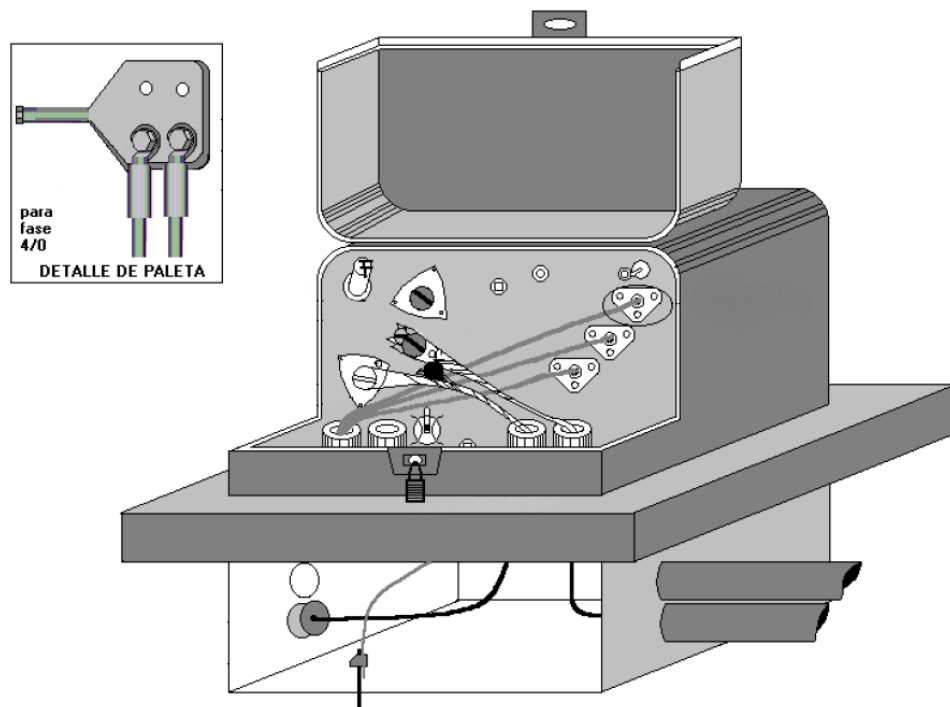
MATERIAL	CANT .
CABLE DE COBRE No. 21.2 mm <sup>2</sup> ( 4 )	2
CONECTOR UNIVERSAL PARA No. 21.2 mm <sup>2</sup> ( 4 )	4
COBRE	1
GRAPA "T - A " PARA VARILLA DE TIERRA	1
TERMINAL DE COMPRESION AISLADO PARA 78.65 mm <sup>2</sup> ( 2/0 )	2
	3
TERMINAL DE COMPRESION AISLADO PARA No. 107.2 mm <sup>2</sup> ( 4/0 )	3
	1
TORNILLO DE BRONCE DE 12.7 x 57.15 mm ( ½" x 2 ¼" )	3
	1
TUERCA DE BRONCE DE 12.7 mm ( ½" )	1
VARILLA PARA CONEXIÓN A TIERRA	1
ARANDELA DE PRECION DE ACERO DE 12.7 mm ( ½" )	4
BUSHING CAT. JLB - 2 - B - 2	1
BUSHING CON PARARRAYOS ELASTIMOLD 167BSA -- 10	
CODO ROMPE CARGA PARA No. 1/0, 15 KV. URD.	
TAPON CONICO M-127.0 mm / (5") B. SUP. 88.9 mm ( 3 ½" ) INF.107.95 mm ( 4 ¾" )	
CANDADO MASTER No. 2 REG. 2359	

Fuente: elaboración propia.

La configuración de transformador monofásico tipo pedestal para una instalación en punto abierto es como se muestra en la siguiente figura.

:

Figura 21. **Transformador tipo pedestal en conexión de punto abierto para una fase**



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 83.

Al igual que para la configuración de tipo remate, en la configuración en punto abierto el acceso al compartimiento de salida es por medio de una puerta abatible, la cual es asegurada por no menos de dos bisagras y abre hacia arriba. Al estar la puerta cerrada no permite aperturas por las que puedan introducir objetos extraños como palos, varillas o alambres que puedan entrar en contacto con partes vivas o dañar los terminales.

Para la configuración de punto abierto en un transformador monofásico tipo pedestal de 50kVA se utilizan los siguientes materiales:

Tabla XIII. **Materiales eléctricos para transformador tipo pedestal en conexión de punto abierto para una fase**

<b>MATERIAL</b>	<b>CANT .</b>
CABLE DE COBRE No. 21.2 mm <sup>2</sup> ( 4 )	2
CONECTOR UNIVERSAL PARA No. 21.2 mm <sup>2</sup> ( 4 )	4
COBRE	1
GRAPA "T - A " PARA VARILLA DE TIERRA	1
TERMINAL DE COMPRESION AISLADO PARA 78.65 mm <sup>2</sup> ( 2/0 )	2
TERMINAL DE COMPRESION AISLADO PARA No. 107.2 mm <sup>2</sup> ( 4/0 )	3
TORNILLO DE BRONCE DE 12.7 x 57.15 mm ( ½" x 2 ¼" )	3
TUERCA DE BRONCE DE 12.7 mm ( ½" )	1
VARILLA PARA CONEXIÓN A TIERRA	1
ARANDELA DE PRECION DE ACERO DE 12.7 mm ( ½" )	2
BUSHINGS CAT. JLB-2- B - 2	4
BUSHING CON PARARRAYOS ELASTIMOLD 167BSA-10	1
BUSHING PARA DESCANSO CON PARARRAYOS 167 PSA.	
CODO ROMPE CARGA PARA No. 1/0, 15 KV. URD.	
TAPON CONICO M-127.0 mm / (5") B. SUP. 88.9 mm ( 3 ½" ) INF.107.95 mm ( 4 ¾" )	
CANDADO MASTER No. 2 REG. 2359	

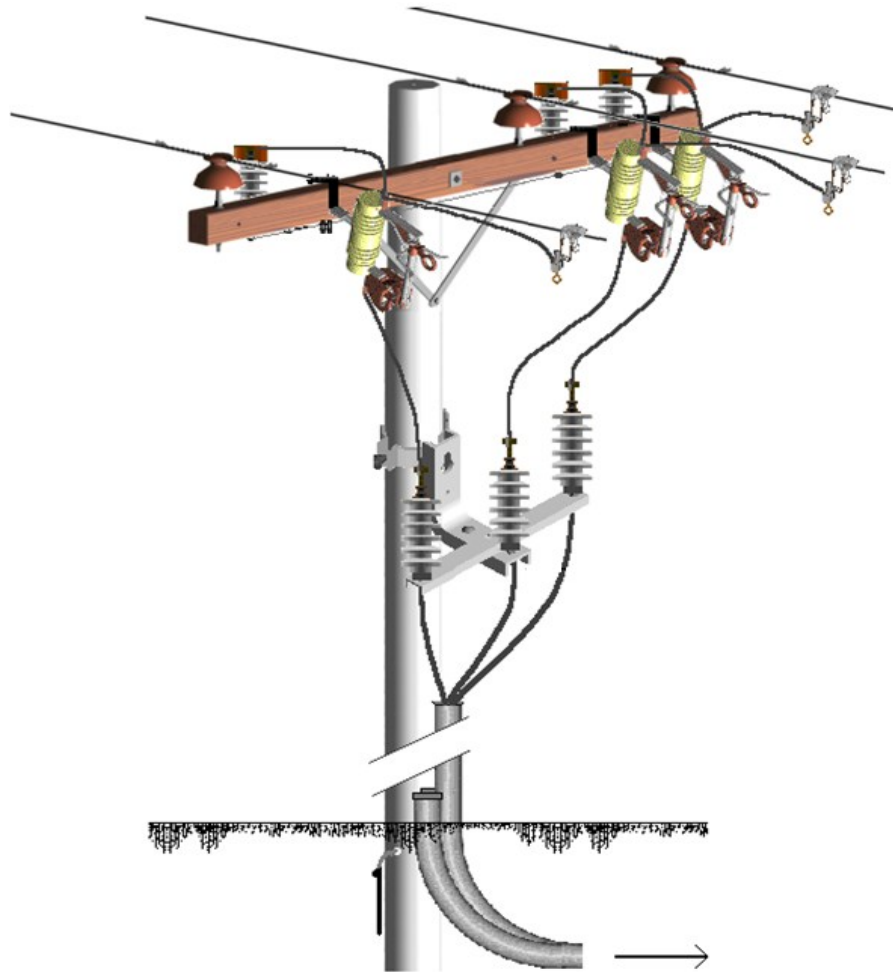
Fuente: elaboración propia.

#### **2.2.1.4. Herrajes y otros materiales**

La construcción de una red de distribución subterránea debe contar con la alimentación a la misma, en este caso proveniente de una red de distribución aérea.

La entrada de los conductores desde el último poste hasta la canalización se conoce con el nombre de bajada primaria, y comprende el último tramo de conductor aéreo, un juego de fusibles para la protección, conectores especiales para conductor UD, entre otros. La figura 22 muestra una bajada primaria con todos sus componentes:

Figura 22. **Bajada primaria en poste**



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 26.

Los componentes necesarios para la construcción de una configuración como la mostrada en la figura 22, se detallan en la siguiente tabla:

Tabla XIV. **Materiales eléctricos para bajada primaria en poste**

<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>
CABLE COBRE S/FORRO #4 AWG	18
CORTACIRCUITOS 100 AMP. P/15 KV	3
PARARRAYO 10 KV T/DIST P/LÍNEA	6
CONECTOR D/RANURA PARALELA P/ 1/0 A 4/0	3
CONECTOR COMPR. DE 2-6 A 2-6 AWG	3
ESTRIBO UNIV. P/CABLE 1/0 AWG	3
GRAPA UNIV. ROSCA CABLE 1/0	3
CONECTOR D/CUÑA D/COBRE P/VARILLA TIERRA	1
VARILLA 5/8"X8' C/BAÑO COBRE	1
CONO INT. 1/0 UD 15KV	3
MONTURA 3 TERM.EXT.	1
TAPON CONICO MADERA 5"	2
TERMIN.EXT. 1/0 UD C/CHAQUETA	3
TERMINAL P/TERMINACIÓN 1/0 URD	3

Fuente: elaboración propia.

### **2.2.2. Mano de obra y presupuesto**

La estimación de mano de obra deberá contemplar no solo la canalización de conductores e instalación de equipos, sino el retiro de la red aérea existente, omitiendo los postes de alumbrado público. Para dicho ejercicio se procedió a cuantificar la cantidad de materiales que se encuentran actualmente en la red de distribución aérea, omitiendo las luminarias y sus postes correspondientes.

Como se mencionó anteriormente y en términos generales, estos materiales contemplan:

- Noventa y ocho postes
- Seis bajadas primarias
- Doce bajadas secundarias
- Noventa y siete bancos de transformación
- Setenta y cuatro cajas de registro
- Diez y siete mil metros de conductor tendido (sin considerar servicios)

Para los noventa y ocho postes que corresponden únicamente a tendido eléctrico sin luminarias, simplemente se procedió a considerar el costo del retiro de los mismos.

Para el caso de las seis bajadas primarias y doce bajadas secundarias, corresponderá a la anulación de las mismas. Los noventa y siete bancos de transformación serán progresivamente anulados retirándolos del punto y substituyéndose gradualmente por transformadores de tipo pedestal.

Considerando que el retiro de la red aérea existente será ejecutado progresivamente conforme avance la canalización de conductores e instalación de transformadores tipo pedestal, el transporte de materiales nuevos al punto y devolución de materiales utilizados al almacén, será llevado a cabo por las cuadrillas en operación en el tramo de trabajo asignado.

Dicho costo es contemplado como parte del trabajo a realizar, el cual considera el transporte de los equipos y materiales y la devolución de los retirados de la red si en caso los hubiera.

La instalación subterránea contará con:

- 2 bajadas primarias de tres fases en conductor calibre 1/0 para 15 kV.
- 8 registros subterráneos monofásicos entrada-salida en conductor calibre 4/0 y protegido 1/0 en 13.2 kV.
- 12 registros subterráneos monofásicos entrada-salida en conductor calibre 4/0 y protegido 4/0 en 13.2 kV.
- 9 registros subterráneos monofásicos entrada-salida en conductor calibre 1/0 y protegido 1/0 en 13.2 kV.
- 6 registros subterráneos monofásicos entrada-salida en conductor calibre 4/0 y dos protegidas 1/0 en 13.2 kV.
- 2 registros subterráneos monofásicos entrada-salida en conductor calibre 1/0 y dos protegidas 1/0 en 13.2 kV.
- 44 instalaciones de transformador tipo pedestal en configuración de paso.
- 4 instalaciones de transformador tipo pedestal en configuración de punto abierto en anillo.
- 18 instalaciones de transformador tipo pedestal en configuración de remate.
- 46 instalaciones de codo rompecarga para cable calibre 4/0.
- 2 instalaciones de fusibles de 18 A para codo aislado calibre 1/0 UD.



- 12 instalaciones de fusibles de 30A para codo aislado calibre 1/0 UD.
- 38 instalaciones de fusibles de 45A para codo aislado calibre 1/0 UD.
- 63 registros subterráneos de paso con un servicio.
- 77 registros subterráneos de paso con dos servicios.
- 43 registros subterráneos de paso con tres servicios.
- 15 registros subterráneos de paso con cuatro servicios.
- 4 registros subterráneos de paso con cinco servicios.
- 1 registro subterráneo de paso con siete servicios.
- 17 registros subterráneos de paso con un ramal y un servicio.
- 16 registros subterráneos de paso con un ramal y dos servicios.
- 18 registros subterráneos de paso con un ramal y tres servicios.
- 4 registros subterráneos de paso con un ramal y cuatro servicios.
- 1 registro subterráneo de paso con un ramal y seis servicios.
- 1 registro subterráneo de paso con un ramal y ocho servicios.
- 6 registros subterráneos de paso con dos ramales y un servicio.
- 4 registros subterráneos de paso con dos ramales y dos servicios.
- 5 registros subterráneos de paso con dos ramales y tres servicios.

- 5 registros subterráneos de paso con dos ramales y cuatro servicios.
- 22 registros subterráneos de remate con un servicio.
- 43 registros subterráneos de remate con dos servicios.
- 57 registros subterráneos de remate con tres servicios.
- 27 registros subterráneos de remate con cuatro servicios.
- 6 registros subterráneos de remate con cinco servicios.
- 5 registros subterráneos de remate con seis servicios.

Además de la canalización de:

- 10,331 metros de cable de aluminio calibre 1/0 URD aislado para 15 kV.
- 16,479 metros de cable de aluminio calibre 4/0 UD aislado para 15 kV.
- 2,100 metros de cable de aluminio trifásico calibre 1/0 URD con aislamiento para 15 kV.
- 12,621 metros de cable de aluminio dos fases #4/0 y una fase 2/0 UD con aislamiento para 600 V.

Sumando un costo de mano de obra aproximado de Q1 990 000,00 más IVA.

### **2.2.2.1. Cálculo de presupuesto**

El cálculo del presupuesto básicamente se realiza mediante la herramienta de cómputo “SAP” la cual debido a que los materiales y equipos se compran en el extranjero, mantiene los costos actualizados diariamente conforme cambie el valor de la moneda. Una vez ingresados todos los materiales y equipos necesarios además del costo de mano de obra; a la fecha del 5 de abril de 2011 el costo es de Q10 554 081,70. Costo variable debido a la oscilación de los precios en el mercado internacional.

### **2.3. Especificaciones de diseño y obra civil**

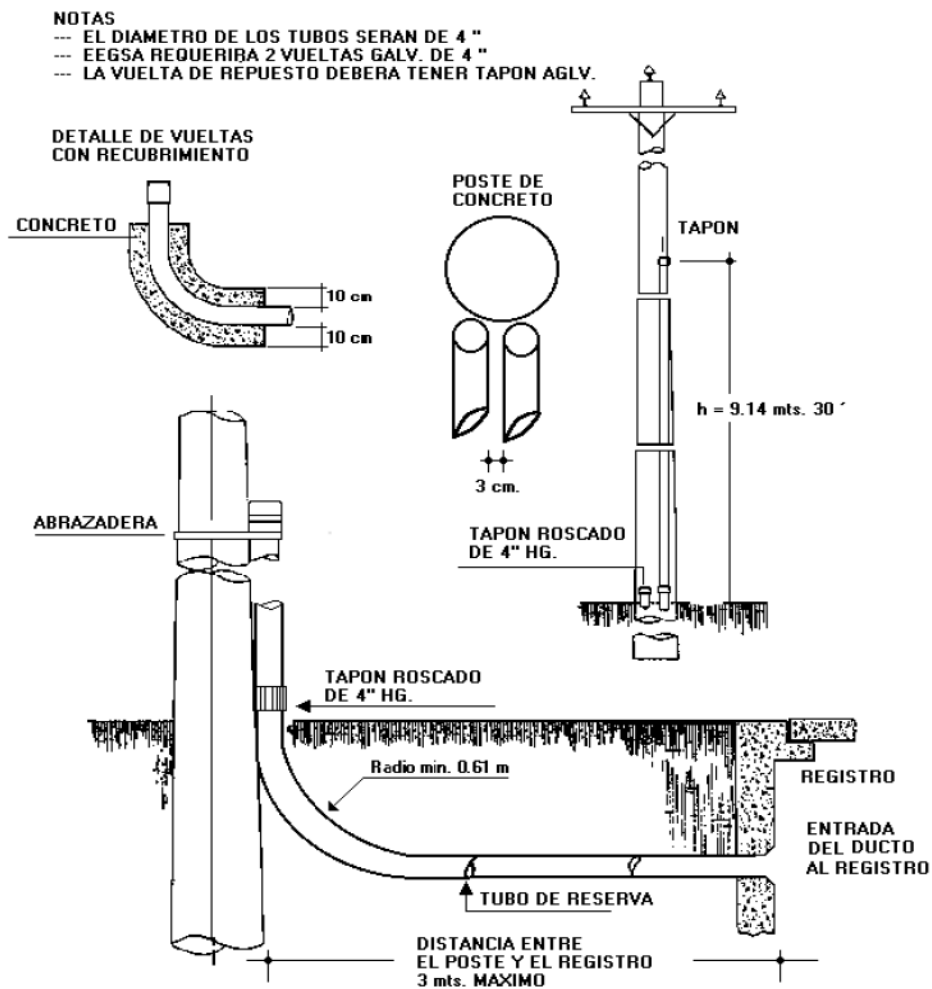
Las especificaciones para el diseño de obra civil corresponden a toda la gama de medidas y materiales específicos a utilizarse para la construcción de una red de distribución eléctrica subterránea, desde la entrada de los conductores aéreos a las tuberías, hasta los usuarios finales. Para tales requerimientos se presta especial atención a la normativa MT 1 2 01: Criterios de diseño de redes subterráneas para distribución en media y baja tensión de Empresa Eléctrica de Guatemala.

#### **2.3.1. Especificaciones y medidas para la tubería**

Toda construcción de canalización para conductores aislados para 15 kV y 600 V, a partir de la bajada de las líneas aéreas deberá contar con tubos de 4 pulgadas a una altura de 9.14 m como mínimo para un poste de 30'. Dichos tubos, uno para los conductores y otro de reserva, deberán ser conectados al codo y tapón roscado el cual hace la unión a la instalación subterránea.

Una vez conectados a la instalación subterránea la cual consiste en por lo menos dos tubos de 4" y de igual forma uno para los conductores y otro para reserva, se extenderán hasta las cajas de registro donde se realizan las instalaciones correspondientes; toda la instalación y obra civil es conocida como "bajada primaria" como se muestra en la figura 23.

Figura 23. Componentes varios y medidas para bajada primaria en poste



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 25.

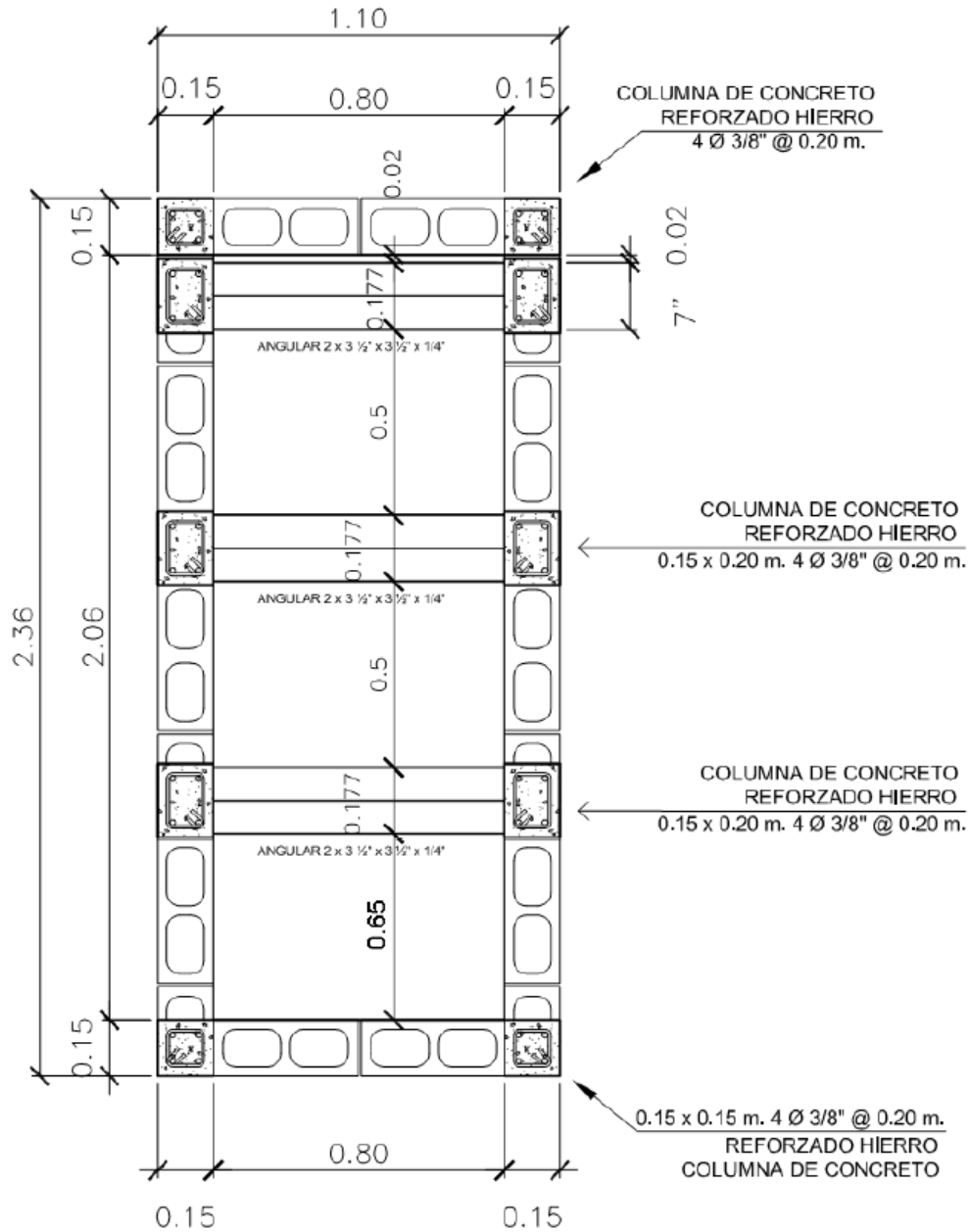
### **2.3.2. Especificaciones y medidas para cajas de registro**

Las especificaciones para las diferentes cajas de registro se describen e ilustran a continuación.

#### **2.3.2.1. Cajas tipo ramal**

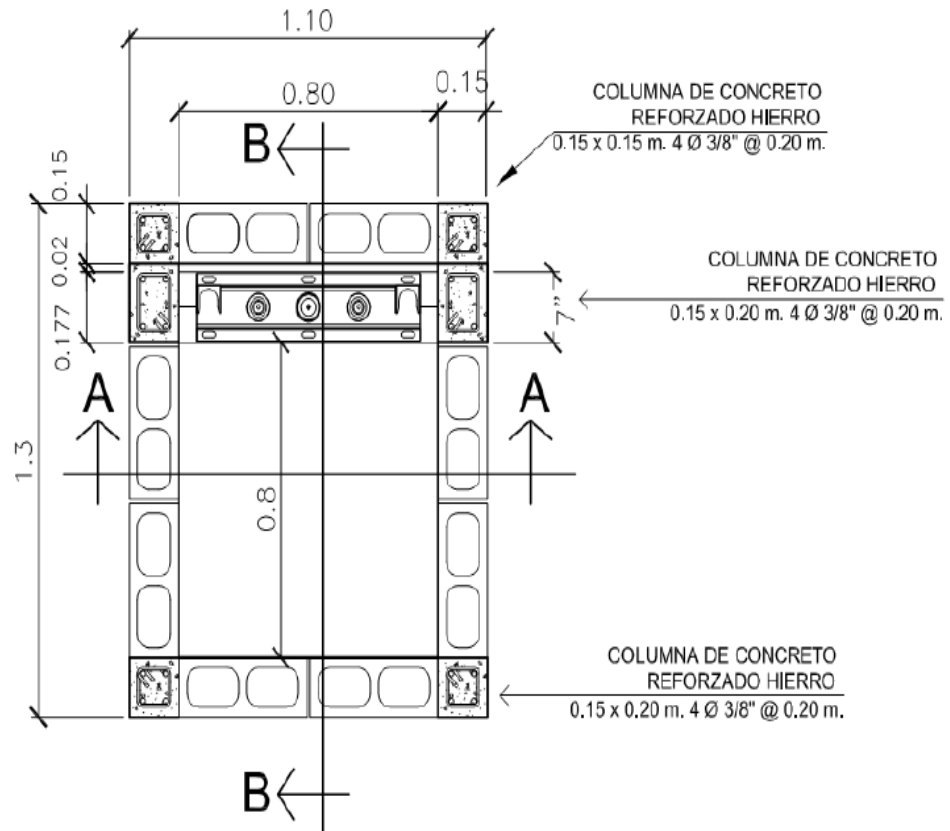
Las cajas tipo ramal para instalación en 13,2 kV deberán hacerse de acuerdo con lo especificado en la figura 24; el diseño cumple con las medidas necesarias para la instalación de barras y codos seccionalizadores, además de permitir a los operadores realizar las maniobras con pértigas. Las dimensiones de profundidad corresponden a la necesidad de contar con espacio para dos vueltas de cable, previo a la conexión con el codo.

Figura 24. Vista en planta y medidas para registro de tres barras de dos y tres posiciones



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 38.

Figura 25. **Vista en planta y medidas para registro monofásico de una barra de dos y tres posiciones**

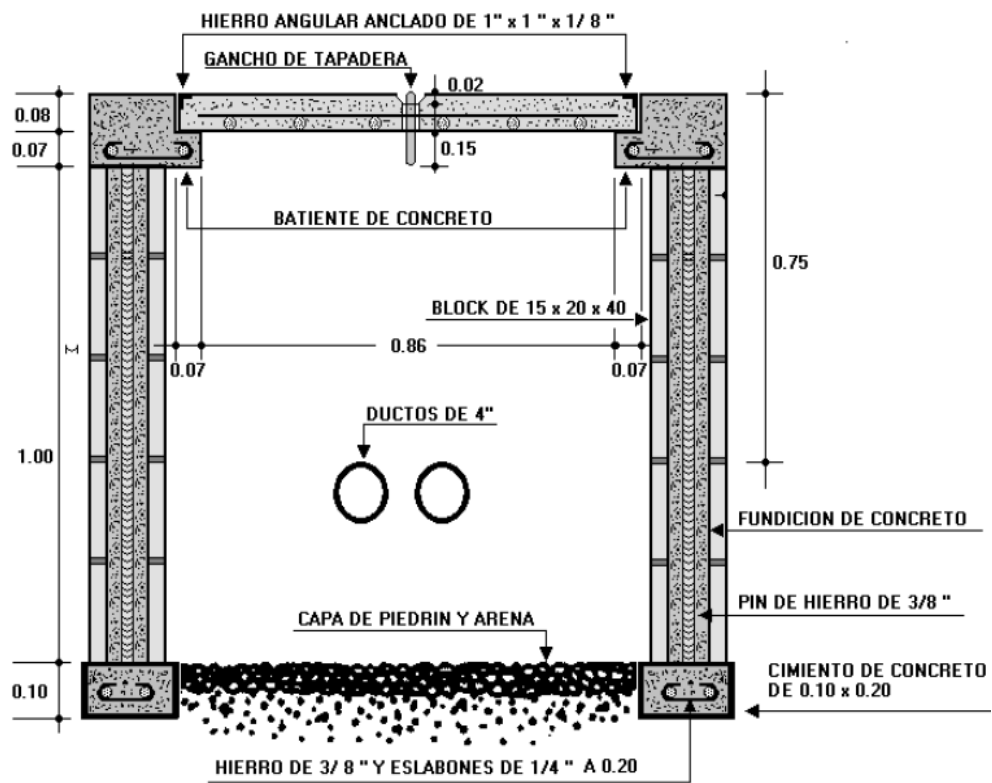


Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 35.

### 2.3.2.2. Cajas tipo remate

Los registros tipo remate deberán cumplir con las dimensiones especificadas en las siguientes figuras:

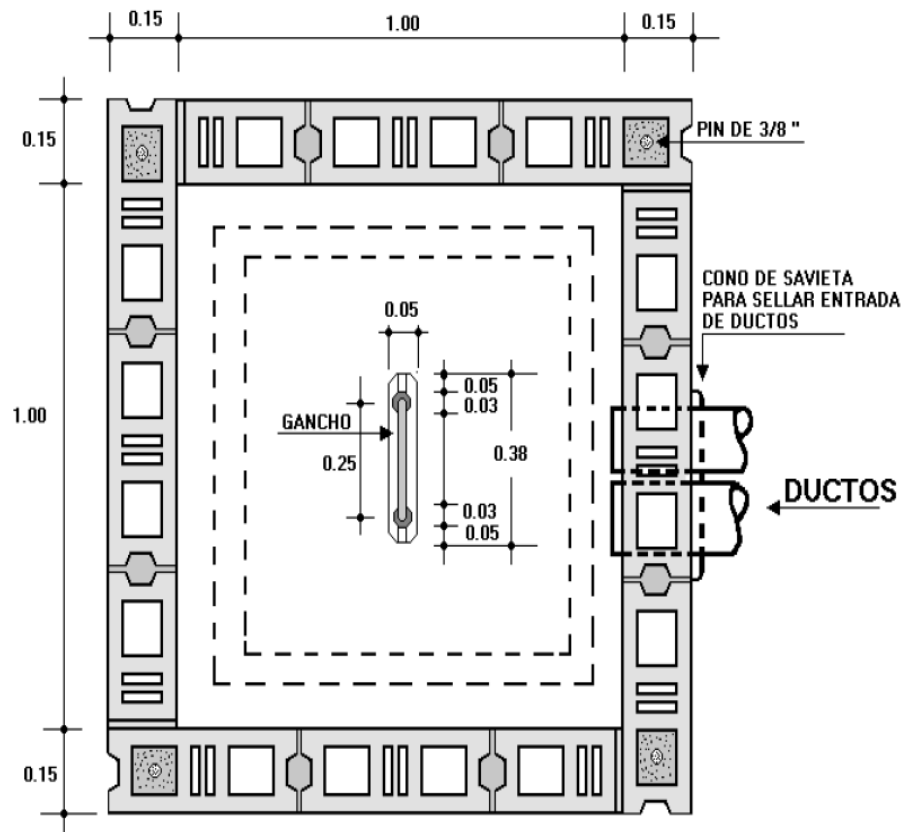
Figura 26. Vista en elevación de registro tipo "H"



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 28.



Figura 27. Vista en planta de registro tipo "H"



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 28.

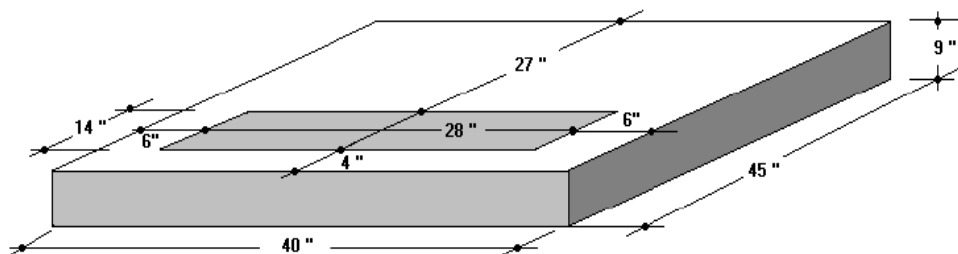
### 2.3.2.3. Cajas de servicios

Al igual que para los registros tipo remate, las cajas de registro para servicios cuentan con las mismas dimensiones y características.

### 2.3.3. Especificaciones y medidas para montajes de transformadores

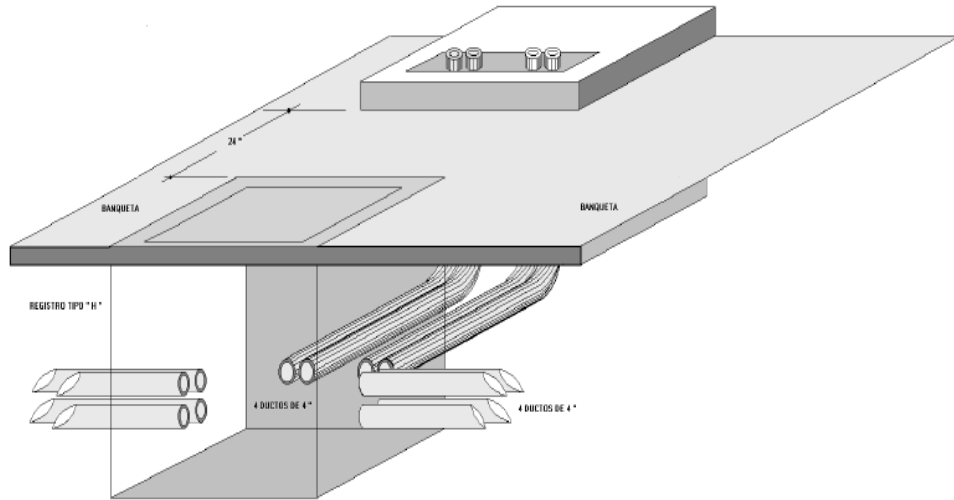
El montaje de transformadores tipo pedestal deberá realizarse sobre estructuras de medidas especiales que además de facilitar la admisión de las tuberías y conductores, proporcionen una base sólida para la instalación del transformador, dichas medidas se especifican a continuación, en las figuras 28 y 29.

Figura 28. **Plataforma de concreto para transformador tipo pedestal de 50kVA**



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 88.

Figura 29. **Plataforma de concreto para transformador tipo pedestal de 50 kVA**



Fuente: GALINDO, Juan José. Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV. p. 88.

Figura 30. Transformador montado y conectado



Fuente: elaboración propia.

### **3. FASE DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Antecedentes del proyecto**

La característica principal de un sistema de distribución es la continuidad del servicio. Para esto es necesario que opere adecuadamente y que en caso de falla, esta pueda detectarse, localizarse y repararse fácilmente.

Una falla en un sistema de distribución aéreo se halla generalmente por medio de una inspección visual, mientras que en los sistemas subterráneos se requiere de otros dispositivos que contribuyan a la rápida localización y aislamiento del cable subterráneo o equipo en falla.

Del mismo modo, en las redes aéreas las fallas generalmente son de tipo momentáneo, ocasionalmente de corto plazo y muchas veces permanentes; tal es el caso del área de Sta. Rosalía La Laguna, la cual por encontrarse en un área forestal protegida posee una densa presencia de vegetación.

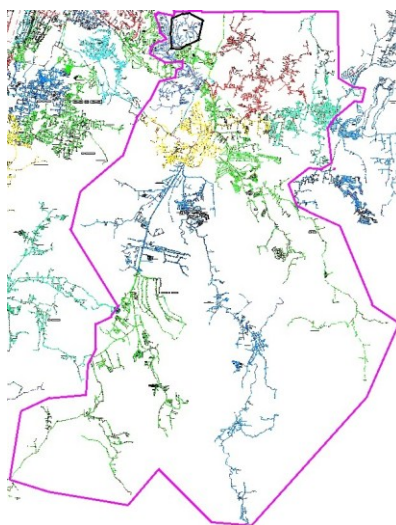
Por lo general en algunos casos, para disminuir esta problemática en redes aéreas es necesario instalar las líneas de distribución en configuración anillo con operación radial, de manera que la localización de una falla sea tan exacta en la medida de lo posible, para permitir el aislamiento de la misma con un mínimo de tiempo y trabajo.

### 3.1.1. Antecedentes de interrupciones en el área

A partir del día primero de mayo del año dos mil seis, en el que se celebraron los contratos entre Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. y sus correspondientes contratistas encargados de realizar las tareas de tala y desrame para determinados sectores de la red, se establecieron las áreas y sectores con el fin de asignar un costo de mantenimiento a la vegetación para cada una de ellas, estableciendo así el costo mensual para cada área delimitada.

El costo anual por mantenimiento preventivo de chapeo, tala o desrame de árboles para el área que comprende desde el final del Boulevard Vista Hermosa zona 15 capitalina, hasta el km. 18, carretera a El Salvador (marcada con color morado fosforescente), como se muestra en la figura 30, es de Q 624 999,93.

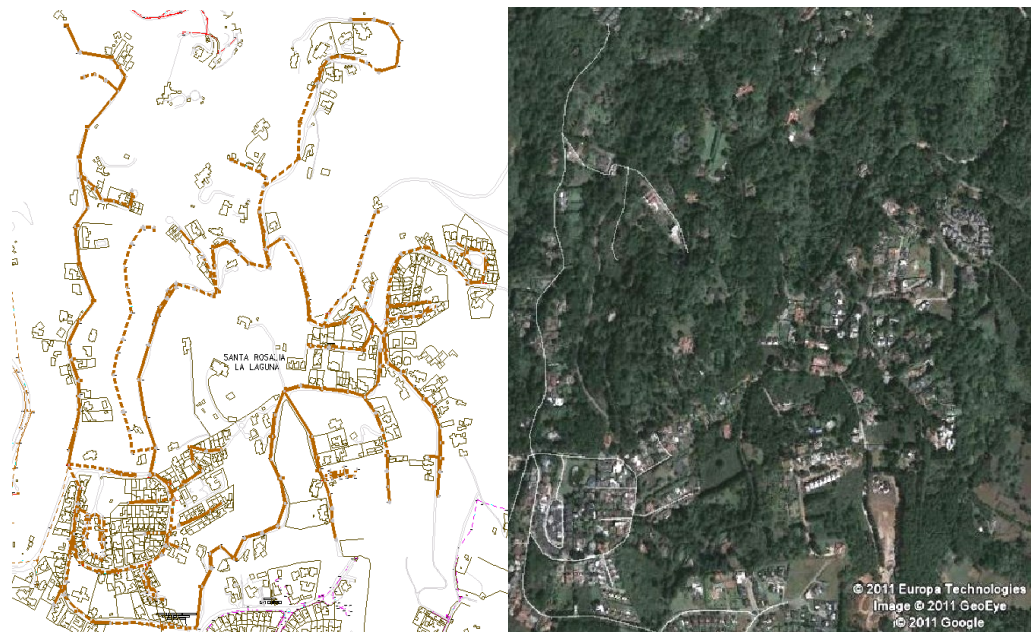
Figura 31. Área delimitada en cobertura para desrames



Fuente: elaboración propia.

Se tiene estimado, según la contrata asignada a dicha área, que el 20% del tiempo debe ser dedicado a atender el área de Sta. Rosalía La Laguna (marcada en negro en la figura anterior), aun cuando el área física es considerablemente menor al total del área asignada.

Figura 32. **Área delimitada en cobertura para desrames en Santa Rosalía La Laguna**



Fuente: <http://www.google.com/earth/index.html>. Consulta: abril de 2012.

Por otro lado, el centro de operación e información es responsable además de realizar maniobras y ejecutar ciertas tareas de mantenimiento correctivo; esto con el objetivo de restablecer el servicio lo antes posible y reducir las pérdidas por energía no suministrada. Dichas tareas de mantenimiento comprenden asignar órdenes de trabajo y materiales necesarios a contratistas para la reparación o corrección de la falla.

En general el distribuidor es penalizado por sobrepasar el tiempo de una interrupción más allá del límite establecido por el regulador; para este caso en particular, el límite es de tres minutos.

La calidad del servicio eléctrico es evaluada por el ente regulador mediante los índices o indicadores globales: frecuencia media de interrupción por kVA (FMIK) y tiempo total de interrupción por kVA (TTIK) además de los índices o indicadores individuales, frecuencia de interrupciones por usuario (FIU) y tiempo de interrupción por usuario (TIU).

Se realizó una estimación de los costos derivados de las fallas e interrupciones a partir de los disparos por ramas reportados por la Unidad de Calidad del Servicio de Empresa Eléctrica de Guatemala. Considerando que los datos son información confidencial propiedad de Empresa Eléctrica de Guatemala S.A., todos los datos y cálculos fueron afectados por un leve porcentaje.

### **3.1.1.1. Frecuencia media de interrupción por kVA (FMIK)**

Representa la cantidad de veces que el kVA promedio de distribución sufrió una interrupción de servicio y la fórmula para encontrarla es la siguiente:

$$FMIK = \sum_j Qkfsj/Qki$$

Donde:

$\sum_j$ : = Sumatoria de todas las interrupciones del servicio durante el semestre

$Qkfsj$  = Cantidad de kVA fuera de servicio en la interrupción j.



$Q_{ki}$  = Cantidad de kVA instalados

Para el caso del indicador de frecuencia media de interrupción por kVA, se procedió a calcular para el primer semestre del año dos mil once, el cual da un valor de: 14.1647. Valor que indica que catorce veces es la cantidad que el kVA promedio sufre una interrupción de servicio en el primer semestre del año dos mil once; debe recordarse que esto es solo para el área particular de Santa Rosalía La Laguna.

Considerando que el ejercicio se plantea exclusivamente para fallas derivadas de disparos por ramas, cabe mencionar que este valor, en el caso de contar con una red de distribución subterránea, se reduciría a cero.

### **3.1.1.2. Tiempo total de interrupción por kVA (TTIK)**

Representa el tiempo total, en horas, en que cada kVA promedio estuvo fuera de servicio:

$$TTIK = \sum_j Q_{kfsj} * T_{fsj} / Q_{ki}$$

Donde:

$\sum_j$  = Sumatoria de todas las interrupciones del servicio durante el semestre

$Q_{kfsj}$  = Cantidad de kVA fuera de servicio en la interrupción j.

$Q_{ki}$  = Cantidad de kVA instalados.

$T_{fsj}$  = Tiempo, en horas, que han permanecido fuera de servicio los kVA en la interrupción j.

Para el caso del indicador de tiempo total de interrupción por kVA, el cual también se procedió a calcular para el primer semestre del año dos mil once, se obtuvo un resultado de: 37:43:42.

Esto indica que para el primer semestre del año dos mil once, solo en el área de Sta. Rosalía La Laguna, derivado de fallas por ramas, representa un tiempo total de treinta y siete horas con cuarenta y tres minutos y cuarenta y dos segundos; que el kVA promedio estuvo fuera servicio derivado de fallas y disparos de protecciones a causa de ramas, situación que se puede evitar contando con una instalación subterránea.

### **3.1.1.3. Frecuencia de interrupción de usuario (FIU)**

Representa la sumatoria de cada una de las interrupciones que afectaron a cada uno de los usuarios relacionados con las mismas.

$$FIU = \sum I_j$$

Donde:

$I_j$  = Número de interrupción  $j$ , para cada usuario.

Para el caso en particular del área de Sta. Rosalía La Laguna, considerando que las fallas fueron independientes y no hubo incidencias en las mismas, se obtuvo un valor de 1.

#### **3.1.1.4. Tiempo de interrupción de usuario (TIU)**

Representa la sumatoria de los tiempos de interrupción por cada usuario afectado.

$$TIU = \sum T_{fsuj}$$

Donde:

$T_{fsuj}$  = es el tiempo, en horas, de la interrupción  $j$ , para cada usuario.

En este caso el tiempo de interrupción de usuario mayor fue de siete horas, veintinueve minutos y diez y ocho segundos.

#### **3.1.1.5. Estimación de pérdidas económicas por interrupciones**

De los registros realizados por el centro de operación e información, se puede concluir que durante el primer semestre del año dos mil once, solo en mantenimiento correctivo, se ha tenido un gasto estimado de Q38 602,77; gasto acreditable totalmente a la incidencia de fallas producidas por vegetación.

Los valores anteriores para la estimación de los indicadores globales e individuales TTIK, FMIK, TIU y FIU, pudieron concluirse a partir de una recopilación mediante datos derivados de registros por parte del centro de control operación e información, además de la unidad de calidad de servicio. Para los casos en los que no se logró adquirir los costos estimados para órdenes de trabajo y mantenimiento correctivo, se procedió a presupuestar mano de obra y estimar costos de materiales.

### 3.1.2. Análisis técnico-económico

Para el análisis técnico económico se realiza una comparación entre las redes de distribución, aéreas y subterráneas; las siguientes tablas sirven para ilustrar de mejor manera las diferencias existentes.

La tabla XII muestra un pequeño cuadro comparativo de ventajas y desventajas entre las redes de distribución aérea y subterránea.

Tabla XII. Comparación ventajas y desventajas

RED AÉREA	RED SUBTERRÁNEA
*Bajo costo inicial *Fácil localización de fallas *Fallas momentáneas	*Menor número de fallas *Menor costo operación y mantenimiento. *Seguridad en el entorno *Mayor plusvalía de áreas públicas y privadas *Mejor estética *Mejor apariencia visual

Fuente: elaboración propia.

El bajo costo inicial es inherente en una red aérea, toda vez que no requiera de la apertura de zanjas, ni cables aislados para poder instalarse. Por lo mismo, al ser visibles todos sus componentes, es muy fácil detectar una falla, aun cuando estas sean mayormente de carácter instantáneo. Por otro lado, las redes subterráneas, al estar ajenas a los agentes externos de la naturaleza, son menos propensas a fallar; lo que deriva en un bajo costo mantenerlas operando.

A su vez mejora la estética y apariencia visual del medio donde se establezca, proporcionando seguridad a las personas y al medio ambiente. Lo anterior hace que tanto las propiedades públicas o privadas de ese entorno aumenten su plusvalía.

En comparación, fenómenos como las lluvias y descargas atmosféricas ocasionan que se presenten fallas en los sistemas aéreos. Adicionalmente, se incrementan los costos, pues se deben reparar tanto aisladores, como cables, y postes, podar de árboles, etc.

Algunas desventajas de las redes de distribución aérea y subterránea se presentan en la tabla:

Tabla XIII. **Comparación desventajas**

<b>RED AÉREA</b>	<b>RED SUBTERRÁNEA</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Mayor cantidad de fallas</li> <li>* Mayor gasto de operación y Mantenimiento</li> <li>*Poca estética del entorno</li> <li>*Menor seguridad del lugar</li> <li>*Mayor susceptibilidad a fenómenos Naturales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Mayor costo inicial</li> <li>* Las fallas son permanentes</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

Las principales causas de falla de una red de distribución aérea, son diversas presentándose fundamentalmente las siguientes:

- Fallas por vientos fuertes: los fenómenos naturales sin duda influyen de gran manera en el correcto funcionamiento de las instalaciones aéreas de distribución. Los vientos fuertes no son la excepción y ocasionan en el caso de Sta. Rosalía La Laguna, que ramas y/o árboles caigan sobre las líneas y accionen las protecciones. Incluso en casos extremos que los cables de las fases continuamente se acerquen reduciendo las distancias mínimas de seguridad, se generan constantes interrupciones momentáneas en el suministro de energía eléctrica. En lugares con densa presencia de vegetación y más explícitamente el área de Sta. Rosalía La Laguna, los fuertes vientos ocasionan diversas contingencias, desde el desprendimiento de ramas hasta el desplome de árboles, los cuales caen sobre las líneas de distribución aéreas.
- Fallas por descargas atmosféricas: tienen lugar durante la época de lluvias, cuando las nubes están cargadas estáticamente a cierto potencial, y se aproximan a la tierra o a otra nube, hasta que en un momento dado, la diferencia de potencial entre estos es superior a la tensión de descarga de toda la energía involucrada, ionizándose el aire y produciendo en consecuencia un rayo. Como las líneas aéreas son también cuerpos cargados electrostáticamente, al librar sus cargas positivas y negativas con los otros cuerpos (nubes), propician una descarga de la energía concentrada, provocando que los rayos incidan indirecta o directamente sobre las instalaciones aéreas. En comparación con las redes de distribución subterráneas, es preciso señalar que los fenómenos que se presentan en los sistemas aéreos son nulos en los sistemas subterráneos, toda vez que no son perjudicados por

fenómenos de índole externo como las descargas atmosféricas, vientos, etc. Por lo antes expuesto, se presentan las fallas que sí ocasionan averías en las redes subterráneas.

- Fallas en el aislamiento del cable: este tipo de falla sucede frecuentemente y consiste en el deterioro del aislamiento por aplastamiento o perforación, toda vez que actúe el campo eléctrico sobre él; llega un momento en el que ya no resiste, y quedan en contacto el plano de tierra y el de la potencia, provocando la interrupción del flujo de la energía. Lo anterior se hace evidente si el conductor se encuentra torcido, la pantalla metálica rasgada o la cubierta está rota.
- Fallas en aislamiento de codos conectores quemados o perforados: se produce esta falla cuando el material del aislamiento interno del conector tipo codo, no resiste la temperatura a la que opera el sistema, calentándose primero y perforándose posteriormente, provocando la interrupción del servicio eléctrico.
- Fallas por conductor con maltrato mecánico o quemado: se presenta principalmente porque durante su instalación en los ductos sufre daño mecánico, y poco a poco el aislamiento se va deteriorando hasta llegar a un punto en el que se pierde la barrera entre los planos de energía y viene la consecuente interrupción del suministro eléctrico. El daño mecánico es uno de los factores responsables de la gran parte de las fallas en los cables de las redes subterráneas. Entre los agentes que lo provocan están los cortes, compresión, perforación, etc.

### 3.1.2.1. Historial de fallas en la red de distribución

Para realizar el análisis del historial de fallas se procedió, al igual que en el subcapítulo que se refiere a los antecedentes de interrupciones en el área, con un ejercicio a partir del primer semestre del año dos mil once, en el que se puede apreciar el cuadro resumen correspondiente a las fallas en dicha área.

Tabla XIV. **Duración de fallas en la red de distribución de Santa Rosalía La Laguna**

No.	SALIDA	ENTRADA	DURACIÓN	FASES
1	03/01/2011 15:02:41	03/01/2011 17:43:41	02:41:00	VNR
2	12/01/2011 10:45:52	12/01/2011 12:24:10	01:38:18	NVR
3	23/02/2011 16:45:11	23/02/2011 17:36:36	00:51:25	R
4	28/03/2011 07:49:57	28/03/2011 09:40:20	01:50:23	R
5	19/03/2011 06:21:55	19/03/2011 08:59:23	02:37:28	V
6	29/04/2011 18:48:25	29/04/2011 19:32:48	00:44:23	V
7	29/04/2011 09:58:19	29/04/2011 11:05:11	01:06:52	N
8	17/05/2011 06:31:46	17/05/2011 10:03:10	03:31:24	N
9	28/05/2011 07:58:58	28/05/2011 10:18:37	02:19:39	VN
10	28/06/2011 12:16:16	28/06/2011 13:27:34	01:11:18	N
11	13/06/2011 16:59:34	13/06/2011 18:52:43	01:53:09	V
12	18/06/2011 08:27:24	18/06/2011 15:56:42	07:29:18	V
13	27/06/2011 06:43:20	27/06/2011 11:03:41	04:20:21	V
14	29/06/2011 15:25:50	29/06/2011 17:12:04	01:46:14	V

Fuente: elaboración propia.



Tabla XV. **Potencia suspendida en la red de distribución de Santa Rosalía La Laguna**

<b>No.</b>	<b>SUBESTACIÓN</b>	<b>CIRCUITO</b>	<b>VAS</b>	<b>KVAS INSTALADOS</b>
1	RODRÍGUEZ BRIONES	56	095	3100
2	RODRÍGUEZ BRIONES	56	790	1790
3	RODRÍGUEZ BRIONES	56	50	505
4	RODRÍGUEZ BRIONES	56	0	70
5	RODRÍGUEZ BRIONES	56	60	360
6	RODRÍGUEZ BRIONES	56	0	75
7	RODRÍGUEZ BRIONES	56	0	50
8	RODRÍGUEZ BRIONES	56	75	175
9	RODRÍGUEZ BRIONES	56	60	535
10	RODRÍGUEZ BRIONES	56	0	300
11	RODRÍGUEZ BRIONES	56	0	275
12	RODRÍGUEZ BRIONES	56	05	205
13	RODRÍGUEZ BRIONES	56	05	205
14	RODRÍGUEZ BRIONES	56	590	5 380

Fuente: elaboración propia.

Las tablas XIV y XV anteriores muestran los kVA comprometidos en cada una de las fallas.

### 3.1.2.2. Análisis de pérdidas derivadas de fallas e interrupciones

De los datos anteriormente expuestos en las tablas XIV y XV se puede estimar que los costos por energía no suministrada (ENS), tan solo para el primer semestre del año dos mil once, alcanzan la cifra de Q 54 052, 00.

Tabla XVI. **Costo directo por energía no suministrada (ENS)**

No.	KVAS	KVAS INSTALADOS	COSTO ENS
1	3 095	3 100	Q20 762,29
2	1 790	1 790	Q7 309,02
3	450	505	Q975,00
4	60	70	Q277,50
5	360	360	Q2 369,97
6	50	75	Q91,66
7	50	50	Q139,58
8	175	175	Q1 538,54
9	460	535	Q2 664,09
10	50	300	Q147,91
11	60	275	Q282,00
12	205	205	Q3 835,04
13	205	205	Q2 220,66
14	2 590	5 380	Q11 438,74
			<b>Q54 052,00</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2.3. Análisis técnico-económico considerando costos del proyecto

Considerando que como se mencionó anteriormente, el costo semestral de operación y mantenimiento de la red es la suma de gastos por atención a llamadas de emergencia por parte del centro de operación e información, los costos de energía no suministrada y el costo semestral de mantenimiento por tala o desrame, exclusivamente para el área de Sta. Rosalía La Laguna. Representando un total de Q155 154,76; como se puede apreciar en la tabla XVII.

Tabla XVII. Costo por energía no suministrada (ENS)

Costo energía no suministrada	Q54 052,00
Gastos por atención a llamadas de emergencia	Q38 602,77
Costo semestral mantenimiento en tala o desrame	Q62 499,99
<b>Total gastos primer semestre año dos mil once</b>	<b>Q155 154,76</b>

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que considerando el hecho de ser fallas correspondientes exclusivamente a ramas o árboles que han caído sobre las líneas de distribución, en el caso de contar con una red de distribución subterránea, estos gastos se reducirían prácticamente a cero.

## **3.2. Investigación en campo**

El trabajo de campo consistió en verificar las condiciones del terreno para el retiro de la red existente.

### **3.2.1. Condiciones de terreno**

Las condiciones de terreno para la construcción de una red de distribución subterránea son favorables, dadas las siguientes características:

- El área asfaltada y con acera peatonal es prácticamente solo la del boulevard principal lo que reduce la cantidad de obra civil para reparar los lugares en donde será necesario canalizar, pues hay aceras existentes.
- Debido a que las viviendas están bastante distanciadas entre sí, y a que aún no ha sido poblada toda el área, la intensidad de tránsito y circulación de vehículos de carga es bastante reducida, por lo que no sería necesario contar con apoyo de policía de tránsito, como se hace normalmente en áreas más congestionadas.

### **3.2.2. Consideraciones para el retiro de la red existente**

El retiro de la red de distribución aérea existente consistirá básicamente en el desmontaje, traslado y devolución al almacén de transformadores, equipos de protección y postes que no sean de alumbrado público. Para dicho proceso y con el objetivo de interrumpir el servicio lo menos posible, se realizarán los trabajos de forma progresiva, empezando por los ramales de menor tamaño y con menor carga instalada.

### **3.3. Propuesta de reconductorado subterráneo**

En términos generales, la propuesta de reconductorado subterráneo nace de la idea primordial de mejorar la calidad de servicio a los usuarios finales, reducir el mantenimiento preventivo y correctivo, y proteger y conservar el medio ambiente, para esta área protegida en particular.



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

### **4.1. Inducción a estudiantes del curso de Transmisión y Distribución en la Facultad de Ingeniería USAC**

La inducción de estudiantes al tema de redes de distribución contempló básicamente el diseño y construcción de redes de distribución aérea y subterránea, lo cual se desarrolló mediante dos conferencias en la Facultad de Ingeniería y una visita técnica al almacén de AMESA, para conocer los equipos y materiales de construcción.

#### **4.1.1. Conferencia inducción a redes de distribución aérea**

Esta conferencia se basó en las diferentes configuraciones y los materiales necesarios para construirlas, desde las salidas de los circuitos en las subestaciones de distribución, hasta los usuarios finales, siempre en distribución aérea.

#### **4.1.2. Conferencia inducción a redes de distribución subterránea**

El contenido de esta conferencia cubrió el tema del diseño de una red de distribución subterránea a partir de una bajada primaria en cualquier punto de una red de distribución aérea.

Se expusieron temas relacionados con los equipos de protección especial utilizados para este proyecto en particular, las cajas de registro para los usuarios finales, la instalación de nuevas conexiones para el alumbrado público, la canalización y empalmes especiales para conductores subterráneos entre otros.

#### **4.2. Visita al almacén de AMESA**

Se programó una visita al almacén, de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica para una demostración sobre cómo se usan los diversos equipos.

##### **4.2.1. Visita a almacén para conocer equipos y conductores**

La visita se realizó con el objetivo de que los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica conozcan la diversidad de equipos y materiales para la construcción de redes de distribución, tanto aérea como subterránea.

Como un tema agregado, la presentación cubrió temas como logística especial para equipos con fluidos internos como transformadores o reconectores.



Figura 33. **Visita técnica a almacén de AMESA**



Fuente: visita al almacén AMESA.

Figura 34. **Grupo de estudiantes durante visita técnica a almacén**



Fuente: visita al almacén AMESA.



## CONCLUSIONES

1. Realizar un estudio referente al diseño de una red de distribución es en términos generales un proceso de ingeniería sumamente complejo, en el que toman relevancia los conceptos, criterios y conocimientos adquiridos en el puesto de trabajo que se desempeña durante el Ejercicio Profesional Supervisado y en el desarrollo de la carrera universitaria.
2. El cálculo de la mano de obra se realizó por medio de las unidades básicas de mano de obra normadas por Empresa Eléctrica de Guatemala, las cuales incluyen una descripción básica de los trabajos necesarios para cada unidad y un costo asociado a cada una, pactado con cada contratista.
3. La visita técnica realizada al almacén de AMESA fue con el único objetivo de que los estudiantes conozcan las múltiples diferencias entre los equipos, materiales y herrajes que se utilizan en redes de distribución aéreas y subterráneas.
4. La estimación de costos se realizó por medio de un programa de cómputo y contabilidad interno, propiedad de Empresa Eléctrica de Guatemala; dicho programa contiene el promedio de precios de materiales comprados en el extranjero y es vulnerable a los cambios de la moneda internacional.

5. Las radiaciones no ionizantes procedentes de líneas subterráneas en niveles de distribución no son consideradas dañinas ni perjudiciales al medio ambiente ni a personas en su proximidad.

## RECOMENDACIONES

1. Con el objetivo de brindar un buen servicio es importante prestar atención a cualquier punto en una red de distribución eléctrica aérea que presente problemas por reincidencia de fallas o interrupciones en el servicio, ocasionadas por ramas o arbolado.
2. Es de suma importancia incluir en el curso de transmisión y distribución del pensum de estudios de la carrera de Ingeniería Eléctrica, los temas referentes a redes de distribución subterráneas, debido a sus ventajas, en comparación con las redes de distribución aéreas.
3. La cuantificación de costos en materiales para cualquier proyecto de modificación de una red de distribución de similar magnitud, debe considerar las constantes oscilaciones y vulnerabilidad de precios, consecuencia de ser materiales cotizados con precios a mayoristas y en moneda extranjera.
4. Es de vital importancia para una reconfiguración de red de distribución eléctrica aérea a subterránea, considerar en el costo de mano de obra, y el retiro gradual de la red aérea existente, evitando generar interrupciones en el servicio eléctrico.



## BIBLIOGRAFÍA

1. EQUISET. *Catálogo de productos hoja técnica-Transformadores de distribución GE tipo Pad Mounted*. [en línea]. <http://www.equissetsa.com/productos/docs/padmounted.pdf>. [Consulta: febrero de 2012].
2. GALINDO, Juan José. *Normativa criterios de diseño para redes subterráneas de distribución de energía eléctrica MT y BT tensión hasta 13.2 kV*. 3a ed. Ciudad de Guatemala: Aprobado por Marco Antonio Juárez subgerente de activos EEGSA, 2011. 96 p.
3. KOSOW, Irvin I. *Máquinas eléctricas y transformadores*. 3a ed. México: Reverté, 1991. 727 p.
4. MCPHERSON, George. *Introducción a máquinas eléctricas y transformadores*. 2a ed. México, D.F.: Limusa, 1987. 547 p.
5. RAMÍREZ VÁSQUEZ, José. *Instalaciones de baja tensión: cálculo de líneas eléctricas*. Barcelona: CEAC, 1977. 1215 p.
6. SERRA FLORENSA, Rafael. *Instalaciones eléctricas generales*. Barcelona: Editores técnicos y asociados, 1979. 301 p.
7. WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION. *Electrical transmission and distribution: Reference book*. 4a ed. Pennsylvania, USA, Westinghouse, 2004. 824 p.

8. ZOPETTI JÚDEZ, Gaudencio. *Redes eléctricas de alta y baja tensión. para conducir y distribuir la energía eléctrica*. 6a ed. México, D.F.: GILY, 1984. 706 p.



## **ANEXOS**

### **Anexo 1. Asistencia a conferencia: “Materiales y equipos para diseño y construcción de redes subterráneas de distribución de energía eléctrica”**

En la siguiente página se presenta una tabla que incluye los nombres, números de carnet y firma, de quienes participaron en dicha conferencia. Este informe fue presentado a la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica -EIME-.