



# **ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA**

**TEMA: DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL SOTERRAMIENTO DEL  
SISTEMA ELÉCTRICO EN EL ÁREA URBANA SECTOR CENTRO DEL  
CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI.**

**AUTORES: CANDO TENORIO, OSCAR DAMIÁN**

**PINTO LÓPEZ, JORGE ENRIQUE**

**DIRECTOR: ING. ITURRALDE ALBÁN, JAVIER HERNÁN**

**LATACUNGA**

**2019**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, **“DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL SOTERRAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN EL ÁREA URBANA SECTOR CENTRO DEL CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI”** fue realizado por los señores **CANDO TENORIO, OSCAR DAMIÁN Y PINTO LÓPEZ, JORGE ENRIQUE**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 17 de diciembre del 2019**



-----  
**ING. ITURRALDE ALBÁN, JAVIER HERNÁN**

**C.C.: 0501399190**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **CANDO TENORIO, OSCAR DAMIÁN** y **PINTO LÓPEZ, JORGE ENRIQUE**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL SOTERRAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN EL ÁREA URBANA SECTOR CENTRO DEL CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

**Latacunga, 17 de diciembre del 2019**

-----  
CANDO TENORIO, OSCAR DAMIÁN

C.C.: 1600595910

-----  
PINTO LÓPEZ, JORGE ENRIQUE

C.C.: 1804063988



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **CANDO TENORIO OSCAR DAMIÁN** y **PINTO LÓPEZ JORGE ENRIQUE** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL SOTERRAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN EL ÁREA URBANA SECTOR CENTRO DEL CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

**Latacunga, 17 de diciembre del 2019**



CANDO TENORIO, OSCAR DAMIÁN

C.C.: 1600595910



PINTO LÓPEZ, JORGE ENRIQUE

C.C.: 1804063988

## DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mis padres Nelly Guadalupe y Lewi Augusto, por siempre apoyarme durante todo este tiempo. Gracias a su sacrificio, consejos y toda su paciencia me impulsaron a culminar mi carrera universitaria, me enseñaron a obrar con humildad. Siempre serán mi idolatría más valiosa.

A mis hermanos Kevin y Marley, nunca dejen de luchar y de esforzarse hasta que sus metas se cumplan, siempre les estaré apoyando.

A toda mi familia que siempre me dieron palabras de aliento y nunca dejaron de creer en mí.

*Damián*

## DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico profundamente a Dios y a mis padres Jorge y Amada, que fueron lo más importante en este trayecto fueron los que estuvieron ahí siempre apoyándome en todo sentido para que yo lograra terminar esta etapa tan importante en mi vida.

A mis hermanos María, Antonio, que siempre han estado junto a mí como familia apoyándonos.

A mis sobrinos que han sido un pilar fundamental para poder terminar esta etapa.

A mi tía Lourdes que siempre ha estado en todo momento apoyando a mi familia.

A todas las personas que siempre creyeron en mí y de una u otra forma me apoyaron.

*Jorge*

## AGRADECIMIENTO

Siempre a Dios que siempre escucho mis plegarias y nunca me dejo solo cuando lo más necesitaba, ayudándome a fortalecerme y ser una mejor persona.

A mis padres Nelly Guadalupe y Lewi Augusto, gracias por siempre confiar en mí, forjaron mi camino con sencillez y responsabilidad, su infinito apoyo, desde el comienzo de mi carrera hasta el día de hoy siempre viviré agradecido.

A toda familia, en especial a mi tía Luz María y mi abuelita Cecilia que me acogieron desde el primer día, cuando empecé esta gran etapa de mi vida.

A todos mis prestigiosos docentes que a lo largo de esta etapa compartieron sus conocimientos y me forjaron como persona.

Al ingeniero Hernán Iturralde, por haber confiado en nosotros, su paciencia fue de grata ayuda para el desarrollo del presente proyecto.

Al ingeniero Carlos Saavedra, quien siempre nos guió desde del primer día gracias a su sabiduría y dedicación fue guía para la culminación de este proyecto.

En fin, a todas las personas que me ayudaron cuando más lo necesite, perdón por no mencionarlos a todos, siempre les estaré muy agradecido, nunca olvidaré lo que hicieron por mí, deberás.

A mis amigos y compañeros que, desde primer día de clases hasta el día de hoy, hemos compartimos grandes momentos.

*Damián*

## AGRADECIMIENTO

Primeramente, le agradezco a Dios por permitirme acabar esta etapa de mi vida por darme fuerzas y bendiciones en momentos difíciles que ha tenido este largo trayecto.

A mis padres Jorge y Amada, que gracias a su esfuerzo y sacrificio lograron que yo termine esta etapa en mi vida.

A mis hermanos María y Antonio, a mis sobrinos Martina y Martin que han sido un motivo fuerte para superarme y lograr terminar esta carrera.

A toda mi familia y en especial a mi tía Lourdes que siempre me ha estado apoyando en todo momento.

A todos los departamentos de ELEPCOS.A., en especial al ingeniero Carlos Saavedra, al ingeniero Hernán Iturralde cuya sabiduría y tiempo fue de gran ayuda para el desarrollo de este proyecto.

A todos mis prestigiosos docentes que a lo largo de este camino supieron formarme académicamente y como persona.

A mi novia que en la última etapa de mi carrera ha estado en momentos difíciles dándome su apoyo incondicional.

A todas las personas que de una u otra manera estuvieron ahí para ayudarme para lograr este camino.

A mis amigos que desde el primer nivel hicimos un grupo para compartir muchos momentos inolvidables en estudio como en diversión y en deporte. BARBARICOS

*Jorge*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CARATULA

CERTIFICACIÓN .....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii

## CAPÍTULO I

### PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Justificación e importancia .....	3
1.3. Objetivos .....	4

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Red eléctrica subterránea .....	5
--------------------------------------	---

2.2.	Elementos para el diseño eléctrico .....	6
2.3.	Alimentadores .....	6
2.4.	Clasificación de los sistemas de distribución .....	8
2.4.1.	De acuerdo a la topología .....	8
2.4.2.	Por el número de fases y conductores .....	13
2.4.3.	Por el nivel de voltaje .....	13
2.5.	Conceptos para el diseño de redes eléctricas de distribución.....	13
2.6.	Transformador.....	17
2.7.	Celdas de media tensión para redes subterráneas.....	20
2.8.	Cables .....	20
2.9.	Fundamentos teóricos del sistema de Alumbrado Público.....	23
2.10.	Herramientas computacionales.....	27
2.11.	Hipótesis .....	29
2.12.	Variables de investigación.....	29
2.13.	Cuadro de operacionalización de las variables .....	30

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

3.1.	Antecedentes investigativos.....	32
3.2.	Normativa MERNNR .....	34
3.3.	Modalidad de la investigación .....	35
3.4.	Tipos de investigación.....	36
3.5.	Descriptiva .....	38
3.6.	Investigación Explicativa .....	38

		x
3.7.	Población y muestra.....	38
3.8.	Técnica de análisis de datos .....	39
3.9.	Técnicas de comprobación de hipótesis .....	40

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

4.1.	Descripción actual de las redes eléctricas aéreas de Salcedo.....	41
4.2.	Descripción de la subestación Salcedo.....	42
4.3.	Descripción de los alimentadores primarios involucrados en el área de estudio.....	43
4.4.	Diagnostico actual de los circuitos primarios.....	44
4.5.	Proyección de la demanda.....	49
4.6.	Comportamiento futuro del sistema actual .....	51
4.7.	Diagnostico actual de los circuitos secundarios .....	52
4.8.	Diagnostico actual del sistema de alumbrado público.....	57

## **CAPÍTULO V**

### **PROPUESTA**

5.1.	Datos informativos .....	64
5.2.	Objetivos .....	64
5.2.1.	Objetivo General .....	64
5.2.2.	Objetivos Específicos .....	65
5.3.	Diseño de la red proyectada .....	65
5.4.	Propuesta de soterramiento calles y avenidas del cantón Salcedo .....	66

5.5.	Red de medio voltaje .....	66
5.6.	Diseño del nuevo alimentador.....	67
5.7.	Selección del conductor de medio voltaje .....	69
5.8.	Transformadores proyectados .....	69
5.9.	Cálculo de los Transformadores de Distribución.....	71
5.10.	Flujos de carga proyectados .....	71
5.11.	Regulación de voltaje.....	73
5.12.	Redes de bajo voltaje proyectadas .....	75
5.13.	Alumbrado público .....	77
5.14.	Diseño de la obra civil .....	81
5.15.	Banco de Ductos.....	81
5.16.	Diseño de Pozos .....	82
5.17.	Dimensiones .....	83
5.18.	Tapas de hormigón y perfil de hierro.....	83
5.19.	Tapas de grafito esferoidal.....	85
5.20.	Consideraciones de construcción .....	86
5.21.	Identificación .....	87
5.22.	Pisos de los pozos .....	87
5.23.	Soportes.....	88
5.24.	Base de hormigón para instalación de equipos.....	89
5.25.	Análisis técnico-económico .....	91
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>104</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>107</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>108</b>

**ANEXOS .....112**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Alimentadores primarios de la S/E 03SA-SALCEDO</i> .....	2
<b>Tabla 2.</b> <i>Niveles de Aislamiento.</i> .....	21
<b>Tabla 3.</b> <i>Características principales de cables para red de medio voltaje subterráneas.</i> .....	22
<b>Tabla 4.</b> <i>Características principales de cables para red de bajo voltaje subterráneas.</i> .....	23
<b>Tabla 5.</b> <i>Características de las vías</i> .....	25
<b>Tabla 6.</b> <i>Operacionalización de la variable independiente</i> .....	30
<b>Tabla 7.</b> <i>Operacionalización de la variable dependiente</i> .....	31
<b>Tabla 8.</b> <i>Alimentadores primarios de la S/E 03SA-SALCEDO</i> .....	32
<b>Tabla 9.</b> <i>Preguntas básicas para la solución de Problemas.</i> .....	39
<b>Tabla 10.</b> <i>Características subestación 03SA-SALCEDO</i> .....	43
<b>Tabla 11.</b> <i>Alimentadores primarios de la S/E 03SA-SALCEDO</i> .....	43
<b>Tabla 12.</b> <i>Cantidad de transformadores públicos y particulares.</i> .....	44
<b>Tabla 13.</b> <i>Consumos promedios por año por cada transformador</i> .....	46
<b>Tabla 14.</b> <i>Resumen de flujos de potencia</i> .....	47
<b>Tabla 15.</b> <i>Resumen de cargabilidad de transformadores.</i> .....	48
<b>Tabla 16.</b> <i>Demandas máximas anuales históricas y proyectadas.</i> .....	49
<b>Tabla 17.</b> <i>Resultados de Flujos de carga</i> .....	51
<b>Tabla 18.</b> <i>Circuitos secundarios existentes</i> .....	53
<b>Tabla 19.</b> <i>Pérdidas y regulación de voltaje en transformadores.</i> .....	55
<b>Tabla 20.</b> <i>Consumos de energía por estrato de clientes.</i> .....	57
<b>Tabla 21.</b> <i>Resumen de equipos de iluminación en el área intervenida.</i> .....	57
<b>Tabla 22.</b> <i>Resumen de la Norma CONELEC 008/11.</i> .....	58
<b>Tabla 23.</b> <i>Categorización de vías.</i> .....	59
<b>Tabla 24.</b> <i>Resultado de la modelación software ULYSSE iluminación existente.</i> ....	62
<b>Tabla 25.</b> <i>Valores recomendados según Norma CONELEC 008/11 (CIE 140).</i> .....	63
<b>Tabla 26.</b> <i>Resumen del flujo de carga para diferentes consideraciones de cables.</i> ..	69
<b>Tabla 27.</b> <i>Ubicación de los transformadores Padmounted proyectados.</i> .....	70

<b>Tabla 28.</b> <i>Resumen de flujos de carga con demanda proyectada.</i> .....	72
<b>Tabla 29.</b> <i>Cómputo de caídas de voltaje y pérdidas de energía en circuitos secundarios.</i> .....	76
<b>Tabla 30.</b> <i>Resultado de la modelación software ULYSSE iluminación proyectada.</i> .	80
<b>Tabla 31.</b> <i>Resumen del tipo de pozo según el tipo de voltaje y servicio.</i> .....	83
<b>Tabla 32.</b> <i>Detalle del costo total del proyecto.</i> .....	92
<b>Tabla 33.</b> <i>Ingresos por venta de energía anuales en 30 años.</i> .....	94
<b>Tabla 34.</b> <i>Valores por ahorro en pérdidas en el sistema actual en 30 años.</i> .....	95
<b>Tabla 35.</b> <i>Costos de energía (Egresos) en 30 años.</i> .....	96
<b>Tabla 36.</b> <i>Valoración del proyecto en 30 años.</i> .....	97
<b>Tabla 37.</b> <i>Valoración del proyecto por VAN y B/C.</i> .....	100
<b>Tabla 38.</b> <i>Principales elementos red eléctrica subterránea proyectada.</i> .....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Red eléctrica subterránea.....	5
<b>Figura 2.</b> Sistema con topología radial .....	9
<b>Figura 3.</b> Sistema con topología en anillo .....	11
<b>Figura 4.</b> Sistema con topología en red o malla.....	12
<b>Figura 5.</b> Algunos factores que inciden en la causa de que se presente una caída de tensión en un sistema eléctrico.....	16
<b>Figura 6.</b> Transformador tipo sumergible trifásico.....	18
<b>Figura 7.</b> Transformadores trifásico tipo pedestal.....	18
<b>Figura 8.</b> Transformador convencional monofásico con frente muerto. ....	19
<b>Figura 9.</b> Celdas de media tensión para redes subterráneas .....	20
<b>Figura 10.</b> Área de influencia del estudio para soterramiento de redes .....	42
<b>Figura 11.</b> Perfil de voltaje del alimentador primario.....	45
<b>Figura 12.</b> Resultados de Perfil de voltaje .....	48
<b>Figura 13.</b> Resumen de pérdidas.....	51
<b>Figura 14.</b> Resultados de Perfil de Voltaje.....	52
<b>Figura 15.</b> Circuitos secundarios dentro de la zona de estudio .....	53
<b>Figura 16.</b> Regulación de Voltaje para un Transformador Tipo .....	54
<b>Figura 17.</b> Estratificación de usuarios.....	56
<b>Figura 18.</b> Modelación de la vía típica de la ciudad.....	60
<b>Figura 19.</b> Iluminación existente calle García Moreno de Salcedo .....	61
<b>Figura 20.</b> Iluminación existente calle Jaime Mata Yerovi de Salcedo .....	61
<b>Figura 21.</b> Iluminación existente calle Olmedo de Salcedo .....	62
<b>Figura 22.</b> Recorrido del alimentador con sus puntos de conexión. ....	68
<b>Figura 23.</b> Diagrama unifilar de medio voltaje.....	72
<b>Figura 24.</b> Pérdidas para 30 años.....	73
<b>Figura 25.</b> Perfil de voltaje año 2020 .....	73
<b>Figura 26.</b> Diagrama unifilar de medio voltaje 2030.....	74
<b>Figura 27.</b> Perfil de voltaje año 2050. ....	75
<b>Figura 28.</b> Circuitos de bajo voltaje.....	76

<b>Figura 29.</b> Diseño de Iluminación calle típica de Salcedo.....	78
<b>Figura 30.</b> Diseño de Iluminación calle García Moreno de Salcedo .....	78
<b>Figura 31.</b> Diseño de Iluminación calle Jaime Mata Yerovi de Salcedo.....	79
<b>Figura 32.</b> Diseño de Iluminación calle Olmedo de Salcedo.....	79
<b>Figura 33.</b> Colocación de ductos. ....	81
<b>Figura 34.</b> Construcción de tapas para acera de 1 y 2 cuerpos.....	84
<b>Figura 35.</b> Estructura de las tapas para acera de 1 y 2 cuerpos.....	85
<b>Figura 36.</b> Tapas de grafito esferoidal .....	86
<b>Figura 37.</b> Adaptación del artículo NESC 341-B1 341-B2 .....	88
<b>Figura 38.</b> Construcción de la base de hormigón para instalación de equipos .....	90
<b>Figura 39.</b> Construcción de la base de hormigón para instalación de equipos .....	90
<b>Figura 40.</b> Obra civil de pozos y ductos. ....	91

## RESUMEN

El presente proyecto está enfocado al diseño del soterramiento del sistema eléctrico de distribución en el área urbana sector centro del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi para lo cual, con el apoyo logístico y operacional otorgada por parte de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S. A. (ELEPCO S. A.), lo que permitirá tener un enfoque detallado de las redes actuales existentes y sus clientes que se encuentran distribuidos en el área, y en base a esta información se ejecutó el diseño y simulación bajo software de las redes soterradas de medio voltaje, bajo voltaje y alumbrado público, cumpliendo con la normativa y reglamentación vigente impuestas por el Ministerio de Electricidad y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR). Para culminar este proyecto se realizó el enfoque técnico-económico en función al tiempo que estimará a ELEPCO S. A., implementar dicho proyecto con el fin de mejorar la estética y servicio hacia los usuarios de dicho cantón, el impacto en la población, la reducción de pérdidas y la mejora de los indicadores de calidad TTIK (Tiempo Total de Interrupción por kVA nominal Instalado y FMIK (Frecuencia Media de Interrupción por kVA nominal Instalado).

### **PALABRAS CLAVE:**

- **REDES ELÉCTRICAS - SOTERRAMIENTO**
- **REDES ELÉCTRICAS – NORMATIVA**
- **CANTÓN SALCEDO**

## **ABSTRACT**

The present project is focused on the design of the underground electric distribution system in the urban area of downtown Salcedo canton, province of Cotopaxi for which, with logistical and operational support provided by the Provincial Electric Company Cotopaxi SA. (ELEPCO S. A.), which will allow to have a detailed approach of the existing networks and their clients that are distributed in the area, and based on this information the design and simulation will be executed under software of the underground networks of medium voltage, low voltage and public lighting, fulfilling the norms and regulations in force imposed by the Ministry of Electricity and Non-Renewable Natural Resources (MERNR). To culminate this project, the technical-economic approach will be carried out according to the time that ELEPCO S.A. will be estimated, and the project will be implemented in order to improve the aesthetics and service towards the users of said canton, the impact on the population, the reduction of losses and the improvement of the quality indicators TTIK (Total Interruption Time per nominal kVA Installed and FMIK (Average Interruption Frequency per nominal kVA Installed).

### **KEYWORDS:**

- **BURYING**
- **PLANNING**
- **CATASTER**
- **NORMATIVE**
- **REGULATION**

## CAPÍTULO I

### PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La implementación de proyectos de soterramiento de las líneas del sistema eléctrico cada vez aumenta, en Ecuador se ha implementado este sistema en varias provincias como es el caso de Cotopaxi en el centro histórico de la ciudad de Latacunga.

Esto es necesario realizar por parte de las empresas distribuidoras de energía para reducir pérdidas, mejorar la calidad de servicio eléctrico, disminuir los indicadores de calidad TTIK (Tiempo Total de Interrupción por kVA nominal Instalado) y FMIK (Frecuencia Media de Interrupción por kVA nominal Instalado).

El problema actual de las redes de Salcedo es que el área urbana data de 1980 cumpliendo así con su vida útil generando esto en el área de influencia un deficiente servicio de calidad de energía, para ello es necesario realizar el proyecto de investigación que permita dar un enfoque técnico-económico a (ELEPCO S.A.), garantizando así una construcción de la red subterránea correcta y confiable cumpliendo con las normas y reglamentos preestablecidos.

#### 1.1. Antecedentes

El cantón Salcedo forma parte de la provincia de Cotopaxi, está servido eléctricamente por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. (ELEPCO S.A.), a través de la S/E Salcedo, la cual dispone de un transformador de potencia de 10/12.5 MVA a un nivel de voltaje de 69/13.8kV que se deriva de la línea de Subtransmisión Ambato-Latacunga a 69KV para energizar los 4 alimentadores primarios que sirven con energía eléctrica a todo el Cantón Salcedo, anteriormente en el área urbana sector el parque central de dicho cantón se realizó trabajos de soterramiento del sistema eléctrico

por parte de (ELEPCO S. A.), en la calle García Moreno cumpliendo así con la normativa y reglamentación establecida en el país. (Chaquina Bonifa & Mise Guanoluisa, 2016)

**Tabla 1.**

*Alimentadores primarios de la S/E 03SA-SALCEDO*

03SA13B1S1	Salcedo Norte - La Tebaida
03SA13B1S2	Salcedo Centro
03SA13B1S3	Salcedo Sur - Oriente
03SA13B1S4	Salcedo Occidental

Fuente: (ELEPCO S. A).

En la República del Ecuador se están efectuando, en los últimos años, numerosos esfuerzos en la elaboración de Normativa y Reglamentación dentro del ámbito eléctrico, indispensables para la modernización del estado. Tanto la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, vigente desde el año 1996, como su Reglamento General, permiten establecer las bases de la estructura del sector eléctrico y su funcionamiento dentro del país. Con fecha 26 de abril de 2013, en la Séptima reunión de Gestión Presidencial, se dio la Disposición No. 20370 denominada “Soluciones para el soterramiento de todos los cables en el país”, en cuyo detalle se menciona que se deben buscar soluciones para el soterramiento de todos los cables en el país, que incluyan normativa, costos, capacidad técnica, cronograma, y una propuesta de priorización. (Unidades de Propiedad - MERNNR, 2015a)

El Acuerdo Ministerial No. 211 en su artículo: indica disponer a cada una de las Empresas Eléctricas del país, que los nuevos diseños y construcciones de redes eléctricas en urbanizaciones lotizaciones, sean subterráneas, aplicando para el efecto las disposiciones contenidas en la Norma Técnica Homologada de las Unidades de Propiedad y Unidades de Construcción del Sistema de Distribución Eléctrica de Redes Subterráneas, así como las correspondientes políticas, ambas circunstancias emitidas por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

El artículo 2 indica: los diseños que con anterioridad al presente acuerdo fueron presentados en las Empresas Eléctricas de Distribución del país, para urbanizaciones y lotizaciones, barrios consolidados, vías y autopistas, deberán ser actualizados de acuerdo a lo dispuesto en el artículo anterior, previo a su aprobación e implementación.(CONSEJO NACIONAL DEL ECUADOR, 2013b)

El acuerdo interministerial No.213 en su artículo 8 acuerda: Dentro de la planificación anual de obras que elaboren las dependencias que forman parte de los Ministerios que suscriben este Acuerdo, deben considerar el cambio de redes aéreas a soterradas en forma prioritaria en; accesos a ciudades, patrimonios culturales, centros turísticos e históricos, accesos a puertos, aeropuertos, puntos o pasos fronterizos internacionales y lugares que ponen en riesgo la seguridad ciudadana.(CONSEJO NACIONAL DEL ECUADOR, 2013a)

## **1.2. Justificación e importancia**

El proyecto de soterramiento tendrá un impacto positivo en el sector del cantón Salcedo proporcionando grandes beneficios en el área donde se lo desarrollara, entre ellos se destaca: Mejorar la calidad de servicio; disminuir los índices de calidad TTIK, FMIK; ,mejorar la iluminación pública en calles, parque y plaza; reducción de pérdidas técnica y no técnicas; reducción de la contaminación visual para las personas provocado por los cables aéreos; Disponer una mejor estética; mayor seguridad para los peatones y conductores que transitan por dicho sector.

Dentro de los objetivos que tiene la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE se encuentra la formación integral de profesionales de excelencia con enfoque investigativo, capaces de solucionar problemas en el entorno en el que se desarrollen, es por eso que en el presente proyecto en un rediseño de las redes existentes en el área urbana del cantón Salcedo se emplee con lo propuesto por la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE-L)

El proyecto puede ser utilizado también como una base para futuros diseños de soterramiento en la provincia de Cotopaxi, ya que este tipo de trabajos están desarrollándose a gran escala en el país dentro de la normativa vigente.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Realizar el Diseño de las redes eléctricas de distribución soterradas del área urbana del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi utilizando la normativa vigente por el Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables (MERNR) y la ELEPCO S.A para mejorar la calidad de servicio eléctrico en el sector y disminuir la contaminación visual.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Realizar un levantamiento de información real actual y detallada de las redes de distribución existentes en el sector.
- Realizar el estudio y proyección de la demanda máxima unitaria.
- Seleccionar un paquete informático.
- Realizar corrida de flujos o simulación de la red de distribución existente en el sector que va hacer intervenido mediante un paquete informático.
- Diseñar la nueva red eléctrica subterránea de medio voltaje, bajo voltaje, y alumbrado público.
- Simular la nueva red eléctrica de distribución mediante un paquete informático incorporado al sistema existente.
- Realizar el estudio de la factibilidad financiera y económica en la implementación del nuevo sistema eléctrico de distribución subterránea.
- Realizar el análisis técnico-económico del sistema en función de las consideraciones de diseño de ELEPCO S.A.

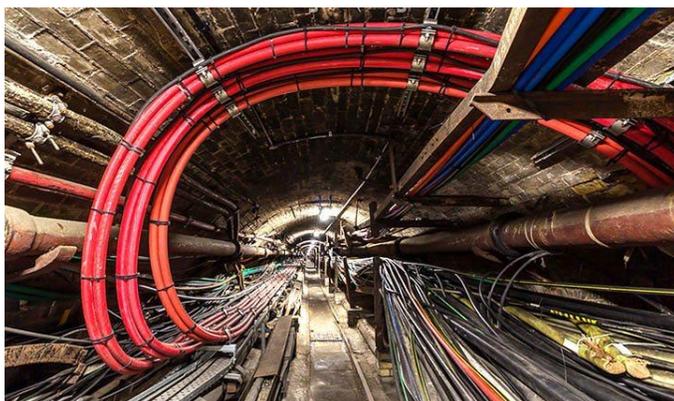
## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1. Red eléctrica subterránea

Fundamentalmente está constituida por uno o más conductores, protegidos por un aislante apropiado y resguardado por una capa. Presentan varias ventajas en relación a las líneas aéreas, valor de mantenimiento reducido, caídas de voltaje mínimas, posibilidades de falla casi nulas, mejor estética en el lugar y sistema más seguro.

Actualmente los nuevos sistemas de suministro de energía, usualmente se emplean cables subterráneos, esto ha llevado a que varias industrias se enfoquen en el desarrollo de conductores acorde para la utilización en varios niveles de voltajes. Estos cables gracias a su gran versatilidad han permitido la conducción de energía eléctrica en cortas y medianas longitudes.



**Figura 1.** Red eléctrica subterránea

Fuente: (EEP - PORTAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, 2019)

Las redes aéreas que conducen electricidad a nivel de alto voltaje (AV) y que se encuentran sostenidas por torres de alta tensión comúnmente se considera una cualidad poco cautivadora para el campo de trabajo. A diferencia de las redes subterráneas están

pueden transmitir energía en áreas altamente pobladas o donde el terreno está expuesto a grandes afectaciones climáticas o relieve accidentado. (Maurya Rajk, Bhatt, Sharma Vikas, & Dhaval, 2015, p. 2)

## **2.2. Elementos para el diseño eléctrico**

Existen elementos y conceptos claves que deben ser considerados en el diseño de redes eléctricas de distribución sean estas áreas o subterráneas, en esta sección se enlista los principios a considerar en las instalaciones en redes de medio y bajo voltaje, así como también alumbrado público. (Enríquez Harper, 2006, p. 16)

- Magnitudes como: características de la carga, factores de demanda, diversidad, coincidencia y de carga, cargabilidad, demanda.
- Servicios como: niveles de voltaje a emplear y distribución por niveles de voltaje.
- Flexibilidad y previsión para demandas futuras.
- Confiabilidad: seguridad en el suministro de energía y seguridad previniendo el riesgo eléctrico de las personas.
- Seguridad personal
- Cumplimiento de normas y reglamentaciones.

## **2.3. Alimentadores**

Principalmente son circuitos encargados de transmitir la energía eléctrica a partir de las centrales generadoras o subestaciones hacia a los puntos o sistemas de distribución, en las áreas de desarrollo más reciente, la distribución residencial y comercial se realiza a través de alimentadores de distribución de servicios subterráneos que utilizan cables subterráneos y transformadores de montaje en pedestal para la conexión del servicio final a cada hogar o negocio.

El sistema de protección para alimentadores se base en un relé de sobrecorriente fase y neutro. La reconexión se emplea para reiniciar el servicio cuando se producen fallas en el circuito, la seguridad se garantiza al mantener el sistema de protección coordinado en función al tiempo de disparo de los relés. (Grid Solutions, 2015, p. 5)

Se puede encontrar varios tipos de alimentadores de los más relevantes tenemos: alimentadores primarios, alimentadores secundarios, alimentadores para acometida y alimentadores para alumbrado público. (Avilés Martínez & Rodríguez Jijón, 2017, p. 8)

### **Alimentador primario**

Es aquel que inicia en las subestaciones de distribución y están designados a suministrar la energía eléctrica hacia los transformadores de distribución al voltaje nominal del sistema de distribución.

### **Alimentador secundario**

Conducen la energía eléctrica desde los transformadores que reducen el voltaje primario a la red secundaria.

### **Alimentador para alumbrado publico**

Tienen como particularidad su enlazamiento con red secundaria y su objetivo principal es de suministrar energía al alumbrado público del sector. (Alvarado, 2003, p. 124)

### **Acometida**

Reparten la energía eléctrica desde la red secundaria al cliente final, a través de un contador de energía.

## **2.4. Clasificación de los sistemas de distribución**

Se clasificación:

### **2.4.1. De acuerdo a la topología**

La topología o tipo de red de distribución hace referencia a las rutas que acogen los alimentadores primarios para la correcta distribución de la energía eléctrica, a partir de la fuente de suministro hacia los centros de transformación o hacia los diferentes tipos de usuarios.

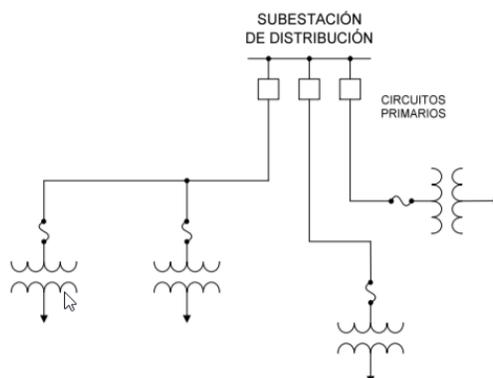
Para el diseño de una red subterránea se pueden considerar distintos tipos de topologías, las mismas que serán elegidas, en función de la localización geográfica, forma y distribución, clima, confiabilidad de continuidad en el suministro de energía, demanda, zona de influencia, diseño urbano, tráfico vehicular y peatonal, tipo de construcción, costo económico, perspectiva a largo plazo, necesidades eléctricas actuales y potenciales, principalmente. (Realpe Hernandez, 2009, p. 21)

Entre las topologías más comunes en redes de distribución tenemos topología de red en anillo abierto, topología de red en anillo cerrado, topología de red radial y topología en red o malla.

#### **Sistema con topología red radial**

Un sistema con topología radial se compone de una sola trayectoria sin regreso entre la fuente y la carga, parte desde una subestación y conduce la energía en forma de “rama” hasta el consumidor.

Como ventaja se debe destacar su simplicidad y facilidad para ser implementada. Este tipo de sistema de distribución tiene como característica básica, que está conectado a un solo juego de barras. En la figura 2 se puede observar un esquema básico de una red con topología radial. (Duchisela Garzón, 2015, pp. 10–11)



**Figura 2.** Sistema con topología radial

Fuente: (Freire, 2012, p. 13)

El principal inconveniente al existir una falla en el sistema y no poseer un respaldo, se cortarían completamente el servicio de energía, dando una limitada confiabilidad eléctrica, para el mantenimiento de los interruptores se dificulta debido a que hay que dejar fuera parte de la red. Actualmente, con el uso de reconectores, esta topología se ha hecho más confiable.

Este tipo de sistemas suelen ser implementados de manera aérea o subterránea. A continuación, se describirá cada una de estas formas mencionadas anteriormente. (Espinosa y Lara, 1990, p. 4)

### **Sistemas radiales aéreos**

Este tipo de sistemas por lo general son utilizados en zonas urbanas, suburbanas y en zonas rurales, los alimentadores primarios están conformados por líneas aéreas instaladas sobre postes, que suministran de energía eléctrica a los transformadores de distribución montados sobre postes, y parten desde de la subestación de distribución.

En sectores rurales donde existe una densidad de la carga reducida, se emplea el sistema radial puro. Para sectores urbanos con una elevada densidad de carga se implementa también un sistema radial, no obstante, existen puntos de interconexión los cuales están normalmente abiertos, en casos emergencia, estos se cierran para permitir

pasar parte de la carga de un alimentador a otro, para que en caso de falla se pueda seccionar esta y mantener su operación al resto mientras se efectúa la reparación o mantenimiento. (Espinosa y Lara, 1990, pp. 4–5)

### **Sistemas radiales subterráneos**

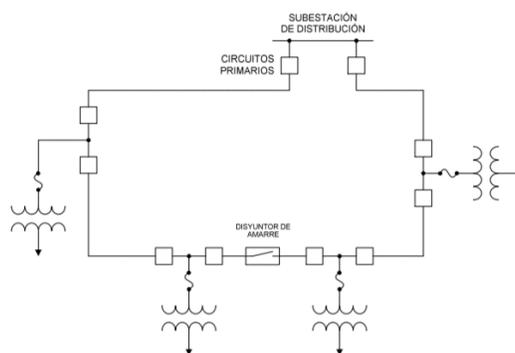
Este tipo de sistemas se implementan en zonas urbanas donde existe una densidad de carga media y alta donde recorren líneas eléctricas con un número considerable de circuitos, otorgando así una mayor confiabilidad que si se cableara de forma abierta.

Los sistemas de distribución radiales subterráneos en comparación a los aéreos se encuentran menos expuestos a fallas, pero al generarse una falla resulta más difícil localizarla y por ende su reparación con lleva más tiempo. Por tal motivo, para evitar suspensiones prolongadas y proveer flexibilidad a la operación, en los sistemas radiales subterráneos se implementan seccionadores para permitir aliviar o pasar la carga de un alimentador primario a otro. También se provee de seccionadores para poder conectar los circuitos secundarios a un transformador más próximo, en el caso de ocurrir una falla o de desconexión de un transformador. (Espinosa y Lara, 1990, pp. 8–9)

### **Sistema con topología red en anillo**

Este tipo de sistemas se caracteriza por proveer más de una trayectoria entre la fuente o las fuentes y la carga para ser alimentada con energía eléctrica, el sistema parte de una subestación y realiza un ciclo completo por el área a proporcionar el servicio y retorna al punto de partida, lo cual garantiza que el área estará alimentada por los dos extremos, posibilitando aislar algunas secciones en caso de existir alguna falla. Es el más implementado para alimentar grandes aglomeraciones de carga, a partir de pequeñas industriales, medianos o grandes centros comerciales donde es primordial la continuidad en el servicio, en la figura 3 se puede observar una red con topología en anillo.

En términos generales la regulación de tensión y la continuidad de servicio que otorga este sistema sobrepasan las ofrecidas por un sistema radial, comúnmente este tipo de sistemas representan un costo inicial mayor. (Espinosa y Lara, 1990, pp. 9–10)



**Figura 3.** Sistema con topología en anillo

Fuente: (Freire, 2012, p. 14)

### **Sistema con topología red anillo cerrado**

Este tipo de configuración se caracteriza principalmente por poseer dos o más extremos alimentados, esto indica que la energía ingresa en un anillo y por ende alimenta a todos los puntos de carga sin presentar cortes de servicio en el caso de existir la salida de una fuente.

Cabe recalcar que su principal ventaja es la alta confiabilidad que provee al sistema, aunque por otro lado existe una desventaja al realizar una correcta coordinación de protecciones y su alto de costo económico de implementación. (Duchisela Garzón, 2015, p. 10)

### **Sistema con topología red anillo abierto**

La topología en anillo abierto se identifica debido a que cualquier punto de carga existente en la red, está en la capacidad de ser alimentado por dos posibles trayectorias eléctricas, pero solo uno de ellos se encuentra activo, el otro camino se encuentra

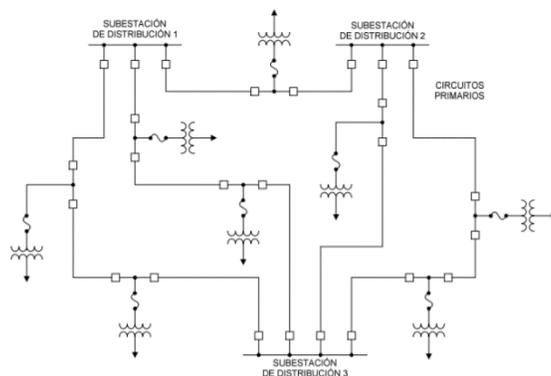
normalmente abierto en caso de una emergencia, y ante una posible falla se efectuara la transferencia por medio de esta posibilidad de conexión en anillo abierto.

Este sistema es el más implementado actualmente, esto se debe a que en condiciones normales la red trabaja al igual que un sistema con topología radial, y ante posibles eventualidades de falla se emplean los respaldos que proveen las otras redes, formando así una red en anillo abierto. Esto quiere decir que presenta las ventajas de las redes radiales, incluyendo la posibilidad de una doble alimentación. (Duchisela Garzón, 2015, p. 10)

### Sistema con topología en red o malla

Para esta topología existen varios trayectos para el flujo de potencia, ante la posibilidad de una falla en alguna subestación, el servicio de energía eléctrica se mantiene en los consumidores, ya que provee una elevada confiabilidad en la alimentación en comparación a las topologías radial o anillo, por otro lado, existe un elevado nivel de complejidad en la coordinación de protecciones y esto se ve reflejado en el costo muy alto que implica implementarlo.

La mayor parte de estos sistemas son desarrollados en zonas urbanas estratégicamente importantes.



**Figura 4.** Sistema con topología en red o malla

Fuente: (Freire, 2012, p. 14)

Dependiendo de las amplias características propias del sistema, se puede clasificar también a los sistemas de distribución de la siguiente manera:

#### **2.4.2. Por el número de fases y conductores**

- Monofásico:
  - Bifilar: 2 conductores (fase y neutro)
  - Trifilar: 3 conductores (fase partida y neutro)
- Trifásico:
  - Trifilar: 3 conductores (3 fases sin neutro)
  - Tetrafililar: 4 conductores (3 fases y neutro)

#### **2.4.3. Por el nivel de voltaje**

- 240/120 V, 210/121 V, para sistemas secundarios.
- 63 KV, 13,8 KV, para sistemas primarios.

### **2.5. Conceptos para el diseño de redes eléctricas de distribución**

En esta sección se detalla los conceptos básicos de los factores que se interrelacionan con el desarrollo de las etapas de modelación de la red eléctrica de distribución actual, proyección de la demanda y con el diseño y la simulación de la nueva red eléctrica de distribución subterránea descrita en capítulos posteriores.

## **Demanda**

Es simplemente la potencia que consume una carga de la fuente de alimentación en un intervalo de tiempo específico, conocido también como intervalo de demanda, por lo general estos tiempos suele ser de 15, 20 o 30 min, siendo 15 min el valor comúnmente empleado.

La demanda puede ser utilizada para caracterizar la potencia real, potencia reactiva, potencia total. Puede ser expresada en kilovatios (kW), kilovoltamperios (kVA), o en amperios (A).

## **Demanda máxima**

Es el valor de mayor demanda ocurrido en un sistema durante un periodo considerado, el cual suele ser diario, mensual y/o anual. Comúnmente se la llama demanda pico o carga pico. La demanda máxima durante un periodo de tiempo es una de las formas más comunes de cuantificar la carga de un circuito

## **Cargabilidad**

La cargabilidad se define como la cantidad máxima de potencia eléctrica que se puede enviar a través de una línea de transmisión manteniendo sus condiciones normales de operación.

## **Perdidas**

Cuando se transmite energía eléctrica desde las centrales de generación a los usuarios a través de las redes de transmisión y distribución, se producen pérdidas de energía y potencia, debido a las características físicas de los componentes de la red. Estas pérdidas son inherentes a la conducción de la energía eléctrica a través de medios físicos y no pueden evitarse del todo.

### **Pérdidas técnicas**

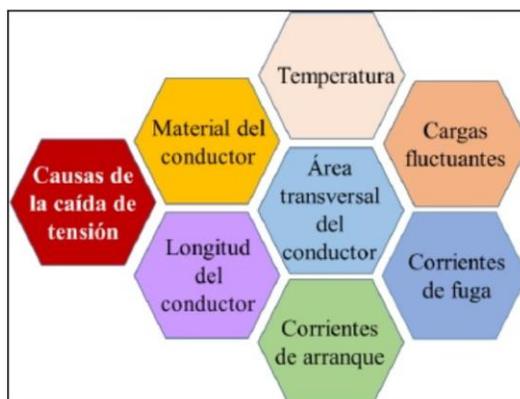
Las pérdidas se deben en general a las condiciones propias de las instalaciones. Están provocadas por la circulación de corriente eléctrica a través de las redes de transmisión y distribución. Su magnitud depende entonces de las características de las redes y de la carga a que éstas se ven exigidas.

### **Pérdidas no técnicas**

Son las que se producen a causa del hecho físico que constituye la circulación de corriente eléctrica y la presencia de tensión en las redes principalmente por efecto Joule. Ello representa para la empresa prestadora del servicio público una pérdida económica importante y por lo tanto debe ser reconocida en la tarifa hasta un determinado valor de eficiencia.

### **Caídas de voltaje**

En la Figura 5, se muestran algunos de esos factores que causan la caída de tensión en un sistema eléctrico. Existen materiales que son mejores conductores que otros. Por ejemplo, el cobre debido a sus propiedades es mejor conductor que el aluminio, a su vez el aluminio es mejor conductor que otros materiales como el acero. Esto nos ayuda a entender que la resistencia no será la misma si el material utilizado en el circuito es cobre que si es aluminio o acero, puesto que el cobre es mejor conductor que estos materiales.



**Figura 5.** Algunos factores que inciden en la causa de que se presente una caída de tensión en un sistema eléctrico.

Fuente: (Espinosa y Lara, 1990, p. 4)

La resistencia tampoco será la misma en un circuito de fuerza de longitud mayor que en un circuito de menor longitud, entre más sea la distancia que recorre el conductor mayor será la resistencia que presente. También, es importante recalcar que la resistencia no será la misma en un ambiente cálido o en condiciones de intemperie que en un ambiente templado o con condiciones controladas puesto que el incremento de la temperatura aumenta la resistencia. De la misma manera el diámetro o calibre del conductor incide en la resistencia del sistema eléctrico, entre más grande sea el diámetro menor será la resistencia.

Otro factor que ocasiona caídas de tensiones en sistemas eléctricos son las corrientes de fuga. La norma internacional de instalaciones eléctricas IEC 60364 define como corriente de fuga, a “la corriente que circula hacia tierra directamente, o a través de elementos conductores, en un circuito eléctricamente sano”.

Factores como los anteriores, son tomados en cuenta en el diseño y selección de materiales para instalaciones eléctricas residenciales e industriales puesto que es importante mantener una distribución de energía confiable y evitar caídas de tensión. Generalmente los valores de impedancia, resistencia y reactancia inductiva de los

conductores eléctricos, se obtienen de los datos proporcionados por los fabricantes, ya sea de circuitos de fuerza, equipo eléctrico primario, etc.

## **2.6. Transformador**

El transformador es una maquina eléctrica que por medio de la inducción electromagnética transmite energía eléctrica de uno o más circuitos, a uno o más circuitos a igual frecuencia de operación, aumentando o reduciendo los valores de voltaje o corriente eléctrica. (Avelino Pérez, 2001, p. 21)

Los transformadores al no tener partes rotativas, requieren poca vigilancia y un valor mínimo de mantenimiento.

Para soterramiento de redes eléctricas se pueden emplear los siguientes tipos de transformadores:

- Transformadores tipo sumergible
- Transformadores tipo pedestal
- Transformadores convencionales con frente muerto

### **Transformadores tipo sumergible**

Están diseñados para ser instalados en bóvedas o cámaras subterráneas, que accidentalmente pueden ser afectados por inundaciones, por tal motivo el sitio donde se ubican estos equipos operan bajo un sistema de drenaje para que el agua pueda circular permanentemente y el transformador no quede totalmente sumergido, además todos los elementos activos del transformador como fusibles, instrumentos y boquillas se encuentran instaladas en la tapa superior del mismo, a excepción de la válvula de drenaje y muestreo están montados en las partes laterales del transformador. (Sumergibles & Chilectra, 2003)



**Figura 6.** Transformador tipo sumergible trifásico.

Fuente:(Sumergibles & Chilectra, 2003)

### Transformadores tipo pedestal

Un transformador tipo pedestal o en pedestal es un transformador de distribución de energía eléctrica montado en tierra en un gabinete de acero cerrado y montado en un pedestal de concreto. Debido a que todos los puntos de conexión energizados están encapsulados de manera segura en una carcasa de metal con conexión a tierra, se puede instalar un transformador tipo pedestal en lugares que no tienen espacio para un recinto cerrado. Primordialmente se instalan en aquellos lugares donde permita ubicarse para servir a un sistema de distribución subterráneo como, por ejemplo: áreas verdes, urbanizaciones, plazas, parques, etc.



**Figura 7.** Transformadores trifásico tipo pedestal

Fuente: (Unidades de Propiedad - MERNNR, 2015c, p. 39)

Estos deberán ser instalados a la intemperie o inusualmente en lugares donde no hubiese el espacio suficiente para el montaje de una cámara eléctrica, su montaje se lo

realizara encima de un cimiento de hormigón y la alimentación se lo efectuara por la parte inferior del transformador, para reducir la tensión primaria de la línea a la tensión secundaria inferior suministrada a los clientes de la compañía eléctrica. Un solo transformador puede servir a un edificio grande o a muchas casas. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2015b, p. 39)

### **Transformadores convencionales con frente muerto**

Se diferencia por no poseer elementos expuestos en MV, lo cual implicaría un alto riesgo si se produjera un contacto accidental. Su forma de operación y conexión es semejante a los transformadores comúnmente usados, con la particularidad que la conexión de MV se lo efectúa por medio de conectores elastoméricos como se muestra en la figura 8.

Su aplicación radica en cámaras a nivel, ubicadas en el primer piso o subsuelos como por ejemplo estacionamiento o parqueaderos. (Avilés Martínez & Rodríguez Jijón, 2017, p. 2)

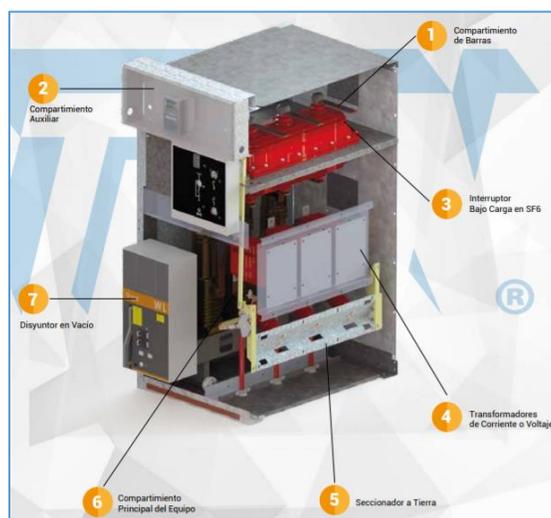


**Figura 8.** Transformador convencional monofásico con frente muerto.

Fuente: (Unidades de Propiedad - MERNNR, 2015c, p. 36)

## 2.7. Celdas de media tensión para redes subterráneas

Están compuestas por una serie de paneles tipo metal-enclosed, de construcción estandarizada, modular o compacta, equipado internamente con interruptores en SF6 o disyuntores en vacío dependiendo del caso. Particularmente pueden ser utilizados para protección y control de líneas eléctricas, en subestaciones, cámaras de transformación, en plantas industriales, así como en plantas fotovoltaicas, además en proyectos de redes subterráneas, proyectos eólicos. (TEAN INGENIERIA ELECTRICA, 2017, p. 3)



**Figura 9.** Celdas de media tensión para redes subterráneas

Fuente:(TEAN INGENIERIA ELECTRICA, 2017, p. 4)

## 2.8. Cables

### Cables para red de medio voltaje subterráneas

En el sistema de distribución subterráneo para medio voltaje, se utilizarán cables monopolares con conductor de cobre aislados (100% y 133% de nivel de aislamiento) con polietileno reticulado termoestable (XLPE) o polietileno reticulado retardante a la arborescencia (TRXLPE) para voltajes de 15 kV, 25 kV y 35 kV. (Unidades de Propiedad - MERNNR, 2015c, pp. 55–56)

**Tabla 2.**  
*Niveles de Aislamiento.*

Nivel	Características
100%	<p>Los cables de esta categoría deben utilizarse en sistemas con neutro conectado sólidamente a tierra y provistos con dispositivos de protección tales que las fallas a tierra se eliminen tan pronto como sea posible, pero en cualquier caso antes de 1 min.</p> <p>También pueden utilizarse en otros sistemas para los cuales sean aceptables, siempre y cuando se cumpla con los requisitos del párrafo anterior.</p>
133%	<p>Los cables de esta categoría corresponden a los anteriormente designados para sistemas con neutro aislado. Estos cables pueden ser utilizados en los casos en que no puedan cumplirse los requisitos de eliminación de falla de la categoría I (100 % nivel de aislamiento), pero en los que exista una seguridad razonable de que la sección que presenta la falla se desenergiza en un tiempo no mayor que una hora. Además, se pueden usar cuando es deseable un aislamiento adicional superior a la categoría del nivel del 100%.</p>

Fuente:(Unidades de Propiedad - MERNNR, 2015c)

**Tabla 3.**

*Características principales de cables para red de medio voltaje subterráneas.*

Consideraciones	Características
<b>Conductor</b>	Cobre suave
<b>Forma del Conductor</b>	Cableado concéntrico
<b>Blindaje</b>	Polietileno semiconductor reticulado extendido simultáneamente con el aislamiento.
<b>Blindaje del aislamiento</b>	Con cinta semiconductor aplicada helicoidalmente o polietileno semiconductor extendido
<b>Pantalla metálica</b>	Cinta de cobre electrolítico con un 100 de cubrimiento.
<b>Chaqueta exterior</b>	PVC negro de alta resistencia al calor
<b>Factor de corrección</b>	El factor de corrección aplicable a la capacidad de corriente para efectos de diseño es de 0.8.
<b>Radio mínimo de curvatura</b>	12 veces el diámetro total del cable.
<b>Calibre mínimo del neutro</b>	Será escogido de acuerdo a la capacidad en las fases, siendo el mínimo el 2 AWG.

Fuente: (Castaño, 2004)

### **Cable para red de bajo voltaje subterráneas**

Para red secundaria subterránea se utilizan cables con conductor de cobre, aislamiento de 2.000 V con polietileno (PE) y chaqueta de policloruro de vinilo (PVC) resistente a la humedad. Para su selección se tendrá en cuenta disponer de una

capacidad del 20% de la nominal del conductor en el momento de la instalación como reserva (diseñar con el 80% de su capacidad).

Además, se debe tomar en consideración la reducción de su capacidad de conducción con el aumento de la temperatura de la red. (Castaño, 2004, p. 584)

**Tabla 4.**

*Características principales de cables para red de bajo voltaje subterráneas.*

Consideraciones	Características
<b>Conductor</b>	Cobre suave
<b>Tipo de aislamiento</b>	Polietileno (PE)
<b>Chaqueta</b>	Policloruro de vinilo (PVC)

Fuente: (Unidades de Propiedad - MERNNR, 2015c)

## **2.9. Fundamentos teóricos del sistema de Alumbrado Público**

### **Alumbrado Público**

Constituye la iluminación de vías y espacios públicos destinados a la movilidad y ornamentación. El alumbrado público se clasifica en: alumbrado público general, alumbrado público ornamental y alumbrado público intervenido. (ARCONEL, 2006, p. 2)

#### **Alumbrado Público General**

Es la iluminación de vías públicas, para tránsito de personas y/o vehículos. Excluye la iluminación de las zonas comunes de unidades inmobiliarias declaradas como propiedad horizontal, la iluminación pública ornamental e intervenida. (ARCONEL, 2006, p. 2)

### **Alumbrado Público Ornamental**

Es la iluminación de zonas como parques, plazas, iglesias, monumentos y a fines, que acatan a principios estéticos emitidos por los GAD Municipales o por el órgano estatal competente. (ARCONEL, 2006, p. 2)

### **Alumbrado Público Intervenido**

Es la iluminación de vías que, debido a planes o requerimientos específicos de los GAD Municipales, infringen los niveles de iluminación establecidos por la regulación. (ARCONEL, 2006, p. 2)

### **Alumbrado Urbano**

El alumbrado urbano en las empresas distribuidoras de energía eléctrica del Ecuador representa, en promedio el 7% del dispendio total de energía, este servicio funciona durante las horas de demanda pico para la iluminación en las vías de tráfico vehicular y de vías peatonales, sirviendo como soporte hacer posible el viajar con seguridad, rapidez y comodidad. Siendo un requisito indispensable que exista unas buenas condiciones de visibilidad, garantizando así, una excelente percepción visual, segura y fácil.

Para realizar el diseño de una instalación de servicio de iluminación en las vías en el área urbana se deben comprender y emplear las reglamentaciones y criterios que son necesarios, la norma guía a ser utilizada es la Regulación CONOCEL 008/11, "Prestación del Servicio de Alumbrado Público General", donde se detalla las diferentes clases de iluminación en función a las características de las vías.

**Tabla 5.**  
*Características de las vías*

Clases de Iluminación	Descripción de vía	Velocidad de circulación (km/h)		Tránsito de vehículos (vehículos/hora)	
M1	Autopista y carreteras	Extra alta	Más de 80	Muy importante	Más de 1000
M2	Vías de acceso controlado y vías rápidas	Alta	Entre 60 y 80	Importante	Entre 500 y 1000
M3	Vías principales y ejes viales	Media	Entre 30 y menos de 60	Media	Entre 150 y menos de 500
M4	Vías primarias o colectas	Reducida	Menos de 30	Reducida	Entre 150 y menos de 500
M5	Vías secundarias	Muy reducida	Al paso	Muy reducida	Menos de 100

Fuente: (ARCONEL, 2006)

## Deslumbramiento

Condición de visión en la cual existe incomodidad o disminución en la capacidad para distinguir objetos, debido a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias, o como consecuencia de contrastes de luz. La excesiva luminancia de lámparas y de superficies iluminadas, puede generar deslumbramiento y reducir el contraste de los objetos. (ARCONEL, 2006, p. 3)

## Iluminancia

La iluminancia es el flujo luminoso total que incide sobre una superficie, por unidad de superficie. Es una medida de cuánto la luz incidente ilumina la superficie, ponderada por

la función de luminosidad para correlacionarla con la percepción de la luminosidad humana, la unidad de la iluminancia es el lux. (JES, 2012, p. 2)

### **Luminancia**

La luminancia se utiliza a menudo para caracterizar la emisión o la reflexión de superficies planas y difusas. La luminancia indica cuánta potencia luminosa será detectada por un ojo que mira la superficie desde un ángulo de visión particular. La luminancia es, por tanto, un indicador de la luminosidad de la superficie para el ojo humano, su unidad es la  $\text{cd}/\text{m}^2$  (candela sobre metro cuadrado). (JES, 2012, p. 2)

### **Uniformidad vertical y horizontal**

Es importante una buena uniformidad de iluminancia en los planos horizontales y verticales. Para conseguir una iluminación óptima, la uniformidad debe mantener en todo momento igual para que las condiciones visuales del conductor o peatón sean las mismas desde cualquier punto de observación. (ARCONEL, 2006, p. 6)

### **Índice de uniformidad de alrededores**

Es la relación de la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho (o menor en espacios que no permite) cada una adyacente a los dos bordes de la calzada (fuera de la calzada) para la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho (o la mitad del ancho si es inferior) dentro de la calzada. Para calzadas dobles, ambas calzadas se deben tratarse conjuntamente como si fueran una única, a menos que estén separadas por más de 10 m. En los casos donde exista una iluminación propia de los alrededores, la utilización de la SR no es necesaria. (ARCONEL, 2006, p. 8)

## 2.10. Herramientas computacionales

Hoy en día es necesario utilizar softwares que nos permitan simular sistemas eléctricos para poder confirmar como se encuentra nuestro sistema actualmente y ver cómo se va a comportar en un futuro, así garantizando un diseño confiable, esto se lo realiza debido al crecimiento de los sistemas eléctricos y redes de distribución en los últimos años.

### CYMDIST

Este programa es muy utilizado en la ingeniería eléctrica en el diseño de redes de transmisión y distribución en distintas necesidades de operación y diferentes escenarios, ya que es de fácil interpretación y muy versátil.

Estas son las herramientas más importantes que posee el programa para llevar a cabo el diseño de una red eléctrica:

- Para análisis flujo de potencia.
- Transitorios y confiabilidad.
- Análisis de dispositivos de protección.

Este programa es muy recomendado en el momento de hacer el diseño de una red eléctrica ya que tienen una interfaz gráfica de usuario de alta definición, además es compatible con los Sistemas de Información Geográfica (GIS) y SCADA's.

Existen softwares comerciales para el diseño de una red eléctrica como son el NEPLAN, NEPCON entre otros, son programas completos que poseen todas las herramientas necesarias para realizar un análisis eléctrico veraz y confiable, el usuario es el que debe decidir con cual software trabajar al momento de realizar su análisis dependiendo de sus requerimientos y necesidades.

## **ULYSSE**

ULYSSE es un software de diseño y cálculo de alumbrado público independiente muy utilizado en ingeniería, ya que está desarrollado para asistir a los diseñadores de iluminación o proyectos eléctricos a modelar y calcular el efecto de la iluminación en todas sus aplicaciones y diseños, además que tiene la capacidad de ejecutar un rango de cálculos de iluminación importante y generar una extensa gama de opciones graficas muy rápidamente.

Con esta herramienta de diseño permite calcular la luminaria adecuada y las características técnicas de la misma, adaptándose así a los requerimientos y especificaciones del diseño.

## **Hoja electrónica Excel**

Es un software informático que se utiliza para realizar cálculos numéricos o matemáticos, la hoja electrónica facilita la manipulación de datos distribuidos en filas y columnas, la intersección de la columna y la fila se conoce como celda. Esta herramienta es ideal para realizar análisis financieros, aplicaciones de ingeniería, construir modelos matemáticos y de negocios, eficientizar el proceso de toma de decisiones y resolver problemas.

Su gran versatilidad permite desarrollar desde una simple suma matemática, hasta resolver integrales, pasando por crear gráficos, ordenar y agregar información no numérica, resolver programas matemáticos, etc., será de mucha utilidad ya que se realizará el cálculo de regulaciones en medio y bajo voltaje.

## **AUTOCAD**

Este software hoy en día es uno de los más utilizados a nivel de ingeniería ya que es muy amigable con el usuario y uno de los más completos, con esta herramienta

computacional se puede hacer el modelamiento de planos eléctricos sin ningún inconveniente.

Una de las principales ventajas del AUTOCAD es que es compatible con varios formatos es decir se puede importar archivos de otros programas y así mismo de los puede exportar a otros, esto hace que el usuario tenga un mejor dinamismo y pueda realizar su diseño de distribución eléctrica.

### **2.11. Hipótesis**

Con el diseño y planificación, posteriormente con la implementación del mismo por parte de la empresa eléctrica (ELEPCO S. A.) se podrá mejorar de manera positiva el sector centro del cantón Salcedo proporcionando así beneficios para los clientes del sector, tales como, confiabilidad, robustez, evita la contaminación visual, seguridad y mejorar el ornato de la ciudad, menores costos de mantenimiento debido a la baja exposición, reducción pérdidas y caídas de voltaje.

### **2.12. Variables de investigación**

#### **Variable independiente**

Diseño, planificación del soterramiento del sistema eléctrico de distribución del sector centro del cantón Salcedo.

#### **Variable dependiente**

Cuantificar la reducción de pérdidas y las caídas de voltaje que existe en el sector.

### 2.13. Cuadro de operacionalización de las variables

**Tabla 6.**  
*Operacionalización de la variable independiente*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR	INSTRUMENTO
<b>Diseño, planificación del soterramiento del sistema eléctrico de distribución del sector centro del cantón Salcedo.</b>	El diseño modelar bajo software las redes soterradas de medio voltaje, bajo voltaje y alumbrado público, cumpliendo con la normativa y reglamentación vigente impuestas por el MERNNR.	Diseño del nuevo sistema eléctrico subterráneo.	Porcentaje de reducción de pérdidas.	Software Cymdist. Hola electrónica Excel.
	La planificación permite determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto acorde a metas técnicas, financieras y de fiabilidad de servicio acorde a los lineamientos internos de la ELEPCO S. A.	Análisis técnico-económico.	Presupuesto	Hola electrónica Excel.

**Tabla 7.**  
*Operacionalización de la variable dependiente*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR	INSTRUMENTO
<b>Cuantificar la reducción de pérdidas y las caídas de voltaje que existe en el sector.</b>	La reducción de caídas de voltaje otorgará al sector un servicio de calidad y fiable, obteniendo seguridad y garantizando la óptima disponibilidad en el suministro de energía eléctrica.	Redistribución de carga y transformadores.	Porcentaje de reducción de pérdidas.	Software Cymdist. Hola electrónica Excel.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Antecedentes investigativos

El cantón Salcedo forma parte de la provincia de Cotopaxi, está servido eléctricamente por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. (ELEPCO S.A.), a través de la S/E Salcedo, la cual dispone de un transformador de potencia de 10/12.5 MVA a un nivel de voltaje de 69/13.8kV que se deriva de la línea de Subtransmisión Ambato-Latacunga a 69KV para energizar los 4 alimentadores primarios que sirven con energía eléctrica a todo el Cantón Salcedo, anteriormente en el área urbana sector el parque central de dicho cantón se realizó trabajos de soterramiento del sistema eléctrico por parte de (ELEPCO S. A.), en la calle García Moreno cumpliendo así con la normativa y reglamentación establecida en el país. (Chaquina Bonifa & Mise Guanoluisa, 2016)

**Tabla 8.**

*Alimentadores primarios de la S/E 03SA-SALCEDO*

<b>03SA13B1S1</b>	<b>Salcedo Norte - La Tebaida</b>
<b>03SA13B1S2</b>	Salcedo Centro
<b>03SA13B1S3</b>	Salcedo Sur – Oriente
<b>03SA13B1S4</b>	Salcedo Occidental

Fuente: ELEPCO S. A.

En la República del Ecuador se están efectuando, en los últimos años, numerosos esfuerzos en la elaboración de Normativa y Reglamentación dentro del ámbito eléctrico, indispensables para la modernización del estado. Tanto la Ley de Régimen del Sector

Eléctrico, vigente desde el año 1996, como su Reglamento General, permiten establecer las bases de la estructura del sector eléctrico y su funcionamiento dentro del país. Con fecha 26 de abril de 2013, en la Séptima reunión de Gestión Presidencial, se dio la Disposición No. 20370 denominada “Soluciones para el soterramiento de todos los cables en el país”, en cuyo detalle se menciona que se deben buscar soluciones para el soterramiento de todos los cables en el país, que incluyan normativa, costos, capacidad técnica, cronograma, y una propuesta de priorización. (Unidades de Propiedad - MERNNR, 2015a)

El Acuerdo Ministerial No. 211 en su artículo: indica disponer a cada una de las Empresas Eléctricas del país, que los nuevos diseños y construcciones de redes eléctricas en urbanizaciones lotizaciones, sean subterráneas, aplicando para el efecto las disposiciones contenidas en la Norma Técnica Homologada de las Unidades de Propiedad y Unidades de Construcción del Sistema de Distribución Eléctrica de Redes Subterráneas, así como las correspondientes políticas, ambas circunstancias emitidas por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

El artículo 2 indica: los diseños que con anterioridad al presente acuerdo fueron presentados en las Empresas Eléctricas de Distribución del país, para urbanizaciones y lotizaciones, barrios consolidados, vías y autopistas, deberán ser actualizados de acuerdo a lo dispuesto en el artículo anterior, previo a su aprobación e implementación. (CONSEJO NACIONAL DEL ECUADOR, 2013b)

El acuerdo interministerial No.213 en su artículo 8 acuerda: Dentro de la planificación anual de obras que elaboren las dependencias que forman parte de los Ministerios que suscriben este Acuerdo, deben considerar el cambio de redes aéreas a soterradas en forma prioritaria en; accesos a ciudades, patrimonios culturales, centros turísticos e históricos, accesos a puertos, aeropuertos, puntos o pasos fronterizos internacionales y lugares que ponen en riesgo la seguridad ciudadana. (CONSEJO NACIONAL DEL ECUADOR, 2013a)

### 3.2. Normativa MERNNR

Toda construcción de un sistema de distribución eléctrica debe basarse en la normativa del MERNNR que establece a nivel nacional las Unidades de Propiedad (UP) Y Unidades de Construcción (UC) que se aplicaran para redes de distribución de energía eléctrica de redes subterráneas.

Esta norma indica la simbología, codificación, especificaciones técnicas y parámetros que se deben utilizar al momento de realizar un diseño de una red eléctrica subterránea o aérea. Y tiene por objetivos:

- Establecer un sistema único para la identificación de las Unidades de Propiedad (UP) que conforman el sistema de distribución de redes subterráneas.
- Estandarizar y homologar los materiales y equipos que conforman las Unidades Constructivas.
- Definir un sumario de especificaciones técnicas de los materiales y equipos eléctricos de mayor uso en el sistema de distribución de redes subterráneas.
- Estandarizar la simbología para representar los elementos del sistema de distribución subterráneo. (Por ejecutar) (Unidades de Propiedad - MERNNR, 2015c)

El documento consta de 6 secciones que se detallan a continuación:

- **SECCIÓN 1:**

Marco teórico para la homologación de las unidades de propiedad y unidades de construcción del sistema de distribución eléctrica de redes subterráneas.

- **SECCIÓN 2:**

Manual de construcción del sistema de distribución eléctrica de redes subterráneas.

- **SECCIÓN 3:**

Especificaciones técnicas de los materiales para sistemas de distribución eléctrica de redes subterráneas.

- **SECCIÓN 4:**  
Manual de las unidades de construcción (UC)
- **SECCIÓN 5:**  
Código de las unidades de propiedad para los sistemas de las unidades de propiedad y unidades de construcción del sistema de distribución.
- **SECCIÓN 6:**  
Simbología de los elementos del sistema de distribución eléctrica de redes subterráneas.

### 3.3. Modalidad de la investigación

El presente proyecto se lo define utilizando una relación entre la valoración - problema - proyecto - solución. Con la finalidad de argumentar estas dos preguntas: ¿Cuál es el problema? y ¿Se solucionará el problema?, para lo cual se adoptará el método o proceso de elaboración de proyectos que se detalla a continuación:

- Inicialmente realizara una recopilación de información y criterios, de investigaciones bibliográficas, sobre el tema para para tener una perspectiva más amplia entre la valoración y el problema.
- Posteriormente se utilizará el método inductivo, a través del análisis de la información para determinar cuál es el estado del sistema y en base a ello iniciar con el diseño y simulación, iniciando de esta manera la relación entre el problema y el proyecto.
- Finalmente se utilizará una investigación experimental la cual, mediante un análisis técnico-económico se evaluará el diseño en función de los recursos disponibles por

la parte de la empresa eléctrica, logrando así la última relación entre el proyecto y la solución al problema.

### **3.4. Tipos de investigación**

#### **Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación da la pauta requerida por los investigadores para poder argumentar a los problemas propuestos mediante objetivos, dichos objetivos se ejecutan solo cuando el problema planteado sea resuelto. El presente proyecto tiene como objetivo principal el diseño y simulación bajo software de las redes soterradas de medio voltaje, bajo voltaje y alumbrado público, cumpliendo con la normativa y reglamentación vigente impuestas por el Ministerio de Electricidad y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR). Para culminar este proyecto se realizará el enfoque técnico-económico en función al tiempo que estimará a ELEPCO S. A., implementar dicho proyecto con el fin de mejorar la estética y servicio hacia los usuarios en el área urbana sector centro del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, el impacto en la población, la reducción de pérdidas y la mejora de los indicadores de calidad TTIK y FMIK.

#### **Investigación bibliográfica**

El proyecto propuesto inicia con la recopilación de información documental en materiales bibliográficos, artículos científicos, catálogos, revistas científicas, páginas web, base de datos y libros de ingeniería en los que se logre obtener la información más relevante para la elaboración del diseño del sistema de redes de distribución subterránea.

Los datos importantes del sistema de distribución radican que actualmente se encuentra en el límite de su vida útil y es necesario diseñar un nuevo sistema para compensar las caídas de voltaje y mejor la estética del sector, incluyendo la simbología que se encuentra dentro de la normativa preestablecida por el MRNNR.

## **Investigación de método inductivo**

Partiendo de este método se obtiene el soporte teórico - práctico del proyecto que será desarrollado con el sustento de la ELEPCO S. A., en base a los resultados de la investigación bibliográfica, base de datos y mediante el razonamiento de los diferentes tipos de proyectos similares actualmente disponibles, por ende, es necesario tener una información amplia de los diferentes parámetros, normas y softwares que son requeridos en el diseño de soterramiento de redes eléctricas.

## **Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación da la pauta requerida por los investigadores para poder argumentar a los problemas propuestos mediante objetivos, dichos objetivos se ejecutan solo cuando el problema planteado sea resuelto. El presente proyecto tiene como objetivo principal el diseño y simulación bajo software de las redes soterradas de medio voltaje, bajo voltaje y alumbrado público, cumpliendo con la normativa y reglamentación vigente impuestas por el Ministerio de Electricidad y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR). Para culminar este proyecto se realizará el enfoque técnico-económico en función al tiempo que estimará la ELEPCO S. A., para implementar dicho proyecto con el fin de mejorar la estética y servicio hacia los usuarios en el área urbana, sector centro del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, el impacto en la población, la reducción de pérdidas y la mejora de los indicadores de calidad TTIK y FMIK.

## **Exploratoria**

Es el nivel más importante de la investigación, se explora y se pone en contacto directo con la realidad del problema del sistema de distribución de energía eléctrica y se da a notar que las redes de Salcedo en el área urbana data de 1980 cumpliendo así con su vida útil, generando esto en la zona de influencia un deficiente servicio de calidad de energía. Gracias a este análisis se obtiene una idea clara del proyecto.

### **3.5. Descriptiva**

El siguiente nivel se lo utiliza para la formulación de la hipótesis que se generó de la exploración que se realizó previamente, con esta investigación se logra definir los procesos exactos del proyecto los cuales son definir los etapas y áreas de trabajo de la zona de influencia para mejorar el servicio de calidad de energía, logrando así definir el desarrollo adecuado del proyecto.

### **3.6. Investigación Explicativa**

Finalmente el último nivel se toma en cuenta la descripción del proyecto y se explican las causas que originaron el estudio es decir se solicita una justificación del objeto del proyecto, a fin de responder a las preguntas ¿Qué problema tiene el sistema de distribución de energía eléctrica?, ¿Cómo solucionar el problema existente en el sistema de distribución de energía eléctrica?, dando a notar que existe un problema en el cumplimiento de su vida útil aumentando las caídas de voltaje, además de un deficiente servicio de calidad de energía al disminuir los indicadores TTIK y FMIK, logrando así confirmar la hipótesis.

### **3.7. Población y muestra**

Por medio de una investigación detallada del proyecto y en base a una serie de preguntas, se puede lograr argumentar al problema propuesto en el capítulo uno del presente trabajo, las preguntas en cuestión se presentan en la tabla 9.

**Tabla 9.**  
*Preguntas básicas para la solución de Problemas.*

Preguntas Básicas		Respuestas Obtenidas
1	¿Para qué?	Para el mejoramiento del servicio de energía eléctrica y la reducción de las caídas de voltaje.
2	¿De qué personas u objetos?	Del sistema eléctrico aéreo de distribución
3	¿Sobre qué aspecto?	Sobre las caídas de voltaje Regulaciones de voltaje
4	¿Quién? ¿Quiénes?	Investigadores
5	¿Cuándo?	2019
6	¿Dónde?	En el área urbana sector centro del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi
7	¿Cuántas veces?	Una vez
8	¿Qué técnicas?	Diseño y simulación
9	¿Con qué?	Software de diseño de redes de distribución CYMDIST y hojas electrónicas Excel
10	¿En qué situación?	En un servicio continuo de funcionamiento

### 3.8. Técnica de análisis de datos

Para interpretar los datos se analiza y se compara el voltaje entregada por los transformadores hacia los diferentes puntos de carga, permitiendo tener un enfoque más claro de cómo se encuentran las caídas de voltaje en el sistema, problema generado por el cumplimiento de la vida útil de las líneas y el sobredimensionamiento de algunos transformadores de distribución excediendo el 60% recomendado por la norma MERNNR debido al aumento de clientes por el paso del tiempo, bajo este análisis se lograra determinar la hipótesis planteada.

### **3.9. Técnicas de comprobación de hipótesis**

Mediante la utilización de software, modelando en el Cymdist primero el sistema eléctrico de distribución existente y luego el proyectado en medio voltaje, cuantificando la reducción de pérdidas y las caídas de voltaje, de la misma manera en bajo voltaje, calculando con las mismas condiciones y características primero el sistema actual y luego el proyectado, las regulaciones de voltaje no superen los valores establecidos la MERNNR.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo en primera instancia se realiza la modelación y simulación de la red de Medio Voltaje (anexo B), empleando el software Cymdist, obteniéndose como resultado el estado actual de la red y en base a las proyecciones de la demanda su futuro comportamiento, dando como principales resultados el incremento en sus pérdidas, perfiles de voltaje fuera de los límites establecidos y transformadores sobrecargados.

De acuerdo a los procesos de diseños para las redes de bajo voltaje establecidos por la ELEPCO S.A., se determinó los porcentajes de caída de voltaje de cada circuito o transformador, reflejando que más del 90% de los circuitos superan el límite establecido del 4%.

#### **4.1. Descripción actual de las redes eléctricas aéreas de Salcedo**

##### **4.1.1. Ubicación y delimitación del área de estudio**

San Miguel de Salcedo es un cantón de la provincia de Cotopaxi se encuentra ubicado al Sur de la ciudad de Latacunga, con una extensión aproximada de 484.4 km<sup>2</sup>, el área de estudio radica en el centro de Salcedo como se muestra en la figura 10, la zona que va hacer intervenida está comprendida por las limitaciones que se indican a continuación:

- Norte: Calle Belisario Quevedo.
- Sur: Av. Jaime Mata y Av. 19 de septiembre,
- Este: Calle Vicente Maldonado.
- Oeste: Calle Dr. Mario Mogollón.



**Figura 10.** Área de influencia del estudio para soterramiento de redes

Fuente: (Google Maps)

#### **4.2. Descripción de la subestación Salcedo**

La subestación Salcedo se encuentra ubicada en el barrio Rumipamba de las Rosas al norte del cantón que posee el mismo nombre, posee un transformador de potencia conectado a un nivel de voltaje de 69/13.8 kV, con una capacidad instalada de 10/12.5 MVA. Este alimentador a nivel de red primaria posee una longitud de 84.027 km en su totalidad, de las cuales 57.2 km son de líneas monofásicas y 26.816 km de línea trifásica, además se encuentran transformadores y líneas sobrecargadas debido al aumento de carga, varios problemas en cuanto a perfiles de voltaje en algunos tramos, elevadas pérdidas técnicas, incumpliendo con la regulación 004/01.

**Tabla 10.**  
**Características subestación 03SA-SALCEDO**

SUBESTACION			
Nombre	Código	Nivel de voltaje	Potencia Instalada (MVA)
Subestación Salcedo	03SA	69/13.8 kV	10/12.5

Fuente: (ELEPCO S. A.)

#### 4.3. Descripción de los alimentadores primarios involucrados en el área de estudio.

El área a ser intervenida se encuentra alimentada por dos alimentadores primarios a un nivel de voltaje de 13.8 kV, los mismos que se derivan de una subestación de distribución mencionada anteriormente, la topología característica de estos alimentadores es netamente radial, es decir, están conformados por una troncal y del mismo se derivan varios ramales, entre monofásicos o trifásicos, con un neutro corrido.

Los primarios involucrados en el área de estudio se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 11.**  
**Alimentadores primarios de la S/E 03SA-SALCEDO**

ALIMENTADORES PRIMARIOS		
Nombre	Código	Descripción
Salcedo Centro	03SA13B1S2	Salcedo 13.8 kV - Transformador 2 Línea 2
Salcedo Sur - Oriente	03SA13B1S3	Salcedo 13.8 kV - Transformador 2 Línea 3

Fuente: (ELEPCO S. A.)

#### 4.4. Diagnostico actual de los circuitos primarios

El centro de la ciudad del cantón Salcedo se encuentra energizada mediante redes de distribución aéreas, la extensión troncal del alimentador está compuesta por conductores “Aluminio Conductor Steel Reinforced” (ACSR) de calibres 3/0 “American Wire Gauge” (AWG), 1/0 AWG; sus ramales monofásicos están compuestos de conductores ACSR de calibres 1/0 AWG, 2 AWG. Dentro del área de estudio se encuentran instalados 40 transformadores para servicio público y 20 transformadores particulares o privados.

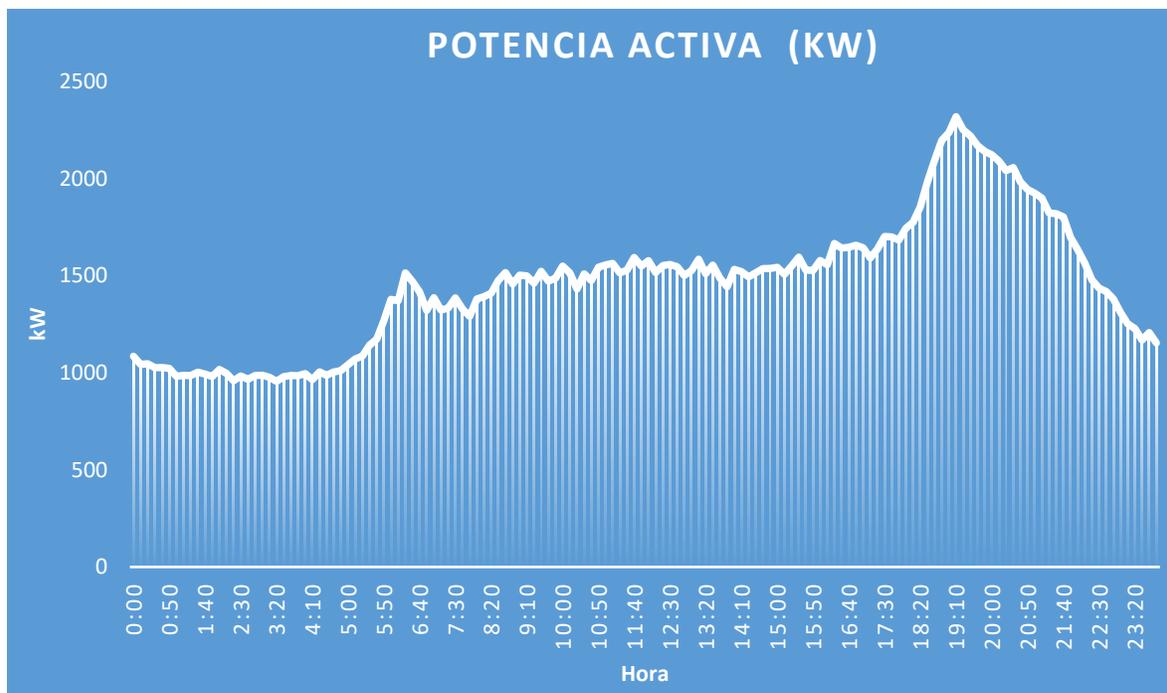
**Tabla 12.**  
*Cantidad de transformadores públicos y particulares*

DESCRIPCIÓN	POTENCIA (KVA)	TOTAL TRAFOS	PÚBLICO	PARTICULAR	TOTAL KVA
1A10T	10	4	1	3	40
1A15T	15	7	3	4	105
1A25T	25	6	3	3	150
1A37.5T	37.5	8	6	2	300
1A50T	50	2	1	1	100
3C30T	30	4	3	1	120
3C45T	45	5	4	1	225
3C50T	50	9	7	3	450
3C75T	75	8	5	2	600
3C90T	90	4	4		360
3C100T	100	3	3		300
<b>TOTAL</b>		<b>60</b>	<b>40</b>	<b>20</b>	<b>2750</b>

#### Demanda actual del alimentador primario

Actualmente, el 90% de la carga correspondiente al centro del cantón salcedo es suministrada por el alimentador 2, el cual en el año 2019 presenta una demanda máxima de 2454,66 kW a las 19:00 horas. Mediante la figura 11, se puede apreciar el perfil de

carga el cual presenta una característica de tipo comercial, esto es predecible debido a la gran cantidad de usuarios de tipo comercial dentro del área de estudio.



**Figura 11.** Perfil de voltaje del alimentador primario

### **Evolución histórica de la demanda de los transformadores de distribución**

Dentro del área de estudio, donde se planifica realizar el proyecto de soterramiento se encuentran instalados 40 transformadores de distribución de propiedad de la ELEPCO S.A. que suministran la demanda de los usuarios del centro del cantón salcedo; para determinar la demanda de cada transformador se realizó un análisis histórico de los consumos de energía de cada usuario y por transformador, el cual se detalla en la Tabla 13.

**Tabla 13.**  
*Consumos promedios por año por cada transformador*

CÓDIGO			CONSUMO PROMEDIO (KWH/MES)					
Transformador	Tipo	Capacidad (KVA)	2013	2014	2015	2016	2017	2018
928	3Ø	112.5	20,992.58	21,199.75	26,348.67	29,229.17	27,914.75	27,980.57
1619	1Ø	15	3,196.92	3,603.50	4,257.92	4,294.00	4,555.50	4,849.71
2002	1Ø	25	3,980.42	4,259.92	4,095.33	4,534.25	4,905.67	4,831.14
2004	1Ø	10	6,816.58	6,500.25	6,303.42	6,718.25	6,373.25	7,104.00
2459	1Ø	37.5	519.91	443.58	358.42	206.00	183.58	108.29
4171	3Ø	75	7,158.92	7,861.83	10,995.00	11,074.42	10,932.00	11,010.29
4174	3Ø	112.5	34,295.58	34,146.67	36,460.33	34,907.25	33,948.00	34,163.29
4175	1Ø	37.5	13,354.42	14,689.17	17,791.92	16,162.17	16,419.92	15,972.86
4177	3Ø	75	16,394.50	17,630.08	18,657.33	19,916.50	18,795.50	18,405.86
4181	3Ø	45	17,399.67	19,708.08	18,214.33	20,053.83	20,894.58	20,135.43
4182	3Ø	112.5	20,178.50	21,786.08	23,260.92	23,720.58	21,706.33	20,716.43
4185	1Ø	37.5	5,151.67	4,757.00	5,127.25	5,200.33	5,924.50	5,882.57
4189	3Ø	30	1,892.64	2,701.33	2,673.75	2,214.50	2,454.83	2,842.14
5079	1Ø	25	3,267.08	3,485.42	3,651.08	3,897.58	3,748.17	3,700.43
5102	1Ø	50	8,543.42	8,561.25	8,525.42	8,700.25	8,864.58	8,928.86
5117	3Ø	75	12,495.75	13,884.00	15,568.92	17,422.92	15,323.25	16,516.71
5507	1Ø	15	4,378.58	5,341.67	6,170.25	6,869.92	7,217.92	7,334.71
5526	1Ø	15	2,159.25	2,195.00	2,498.83	2,390.08	2,307.83	2,107.29
5918	3Ø	50	3,887.25	3,794.42	4,098.75	4,560.58	4,136.17	4,024.00
5921	3Ø	75	17,353.42	18,118.25	20,245.75	19,872.50	18,953.58	19,223.71
6862	1Ø	25	4,785.58	5,017.33	5,593.17	5,048.58	5,191.08	5,695.57
7021	1Ø	37.5	4,463.25	4,305.83	4,843.75	4,483.92	4,976.92	5,077.14
7024	1Ø	37.5	13,048.33	13,863.75	14,795.08	15,783.25	15,426.08	15,963.57
7488	3Ø	30	12,726.08	12,721.75	12,040.25	10,358.75	9,043.50	8,760.71
7490	1Ø	30	5,242.08	6,107.83	7,878.92	7,626.75	7,699.08	7,488.00
7516	3Ø	100	23,898.25	23,687.50	24,551.92	23,294.83	22,140.25	19,475.29
7693	3Ø	50	15,968.42	16,393.67	17,743.50	18,885.25	18,986.75	18,271.86
7718	3Ø	45	14,439.83	14,902.08	16,943.92	17,582.75	18,536.75	17,374.86
7761	3Ø	75	23,281.08	23,099.92	21,576.50	21,032.58	18,275.92	18,347.43
8284	3Ø	30	11,285.58	11,522.42	11,024.75	9,505.58	9,938.50	10,042.71
9135	3Ø	75	5,356.83	5,928.08	6,304.25	5,886.92	6,857.83	6,545.86

CONTINÚA



9141	3Ø	112.5	38,509.67	37,035.33	39,613.33	37,834.17	36,467.75	35,858.29
9631	3Ø	150	29,875.92	35,063.08	32,188.33	32,858.92	32,299.75	32,969.71
9632	3Ø	50	14,534.67	14,314.33	14,017.92	14,849.83	15,960.08	16,227.86
9706	3Ø	50	2,713.17	3,602.75	6,272.67	5,861.75	6,812.83	6,778.71
9726	3Ø	125	22,704.33	27,073.42	28,091.00	25,712.00	26,728.33	28,264.43
9998	1Ø	10	2,689.75	3,007.25	3,528.58	3,488.33	3,100.83	2,950.57
10295	3Ø	50	8,220.25	8,418.92	9,014.67	9,089.50	9,854.08	8,545.43
10296	3Ø	50	13,810.83	15,461.33	20,747.00	20,842.08	22,372.75	21,880.86

### Análisis de flujos de potencia

Una vez que se cuenta con la modelación del sistema, se procede a realizar los respectivos flujos de carga, bajo las condiciones de demanda máxima con la finalidad de conocer el comportamiento del mismo cuando se encuentra a mayor estrés eléctrico.

Los datos analizados y más representativos son:

- Perfil de voltaje en el punto más alejado del sistema;
- Pérdidas a demanda máxima;
- Comportamiento de los transformadores.

### Resultados de Flujos de carga

**Tabla 14.**  
*Resumen de flujos de potencia*

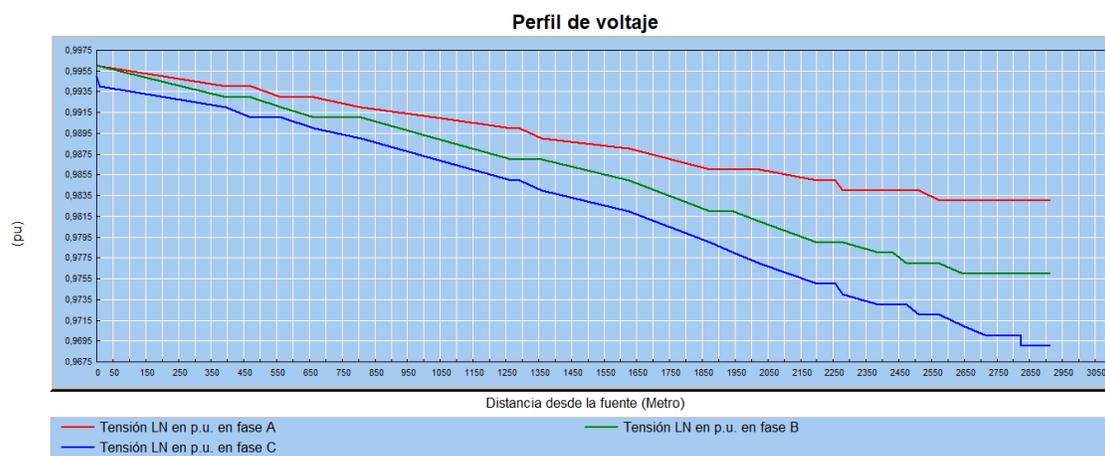
Resumen	kW	kVAR	kVA
<b>Pérdidas en las líneas</b>	36.14	35.76	50.84
<b>Pérdidas de carga del transformador</b>	46.37	185.47	191.18
<b>Pérdidas en vacío del transformador</b>	12.61	0.00	12.61
<b>Pérdidas totales</b>	<b>95.12</b>	<b>221.23</b>	<b>240.81</b>

## Transformadores Sobrecargados

**Tabla 15.**  
*Resumen de cargabilidad de transformadores.*

# Transformador	Potencia	% Sobrecarga	Coor X	Coor Y
7490	30	103.9	767,688	9,884,237
7761	75	105.9	767,916	9,884,294
5921	75	102	768,067	9,884,308
6862	25	102	768,138	9,884,075
9135	75	100.2	768,216	9,884,331
4181	45	109.3	768,584	9,884,457
928	112.5	107.6	768,704	9,884,538
4182	112.5	102.2	768,500	9,884,573
7718	45	108.6	768,636	9,884,370
9141	25	102.7	768,418	9,884,600
7693	50	107.3	768,273	9,884,363
9632	50	110.4	768,256	9,884,504

## Graficas de perfiles de voltaje



**Figura 12.** Resultados de Perfil de voltaje

Fuente: (Cymdist - EATON CORPORATION)

#### 4.5. Proyección de la demanda

Para evaluar el comportamiento futuro de las redes de distribución, se realizó la proyección de la demanda a 30 años, empleando el modelo de métodos simples el cual está basado en la tasa de crecimiento histórico de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$DMU_p = DMU * \left(1 + \frac{Ti}{100}\right)^t \quad (1)$$

**Donde:**

DMUp: Demanda Máxima Unitaria Proyectada

DMU: Demanda Máxima Unitaria

Ti: Tasa de crecimiento

t: Tiempo en años

Los registros de demanda de los alimentadores de la subestación salcedo fueron proporcionados por el departamento de Planificación de la ELEPCO S.A. información necesaria que se requiere para la proyección de la demanda. En la Tabla 16, se presenta un resumen de la proyección de la demanda.

**Tabla 16.**  
*Demandas máximas anuales históricas y proyectadas*

Año	Dmáx (kW)
2014	2,212.68
2015	2,249.84
2016	2,331.93
2017	2,446.12
2018	2,450.00
2019	2,459.66
2020	2,521.82
2021	2,582.51
2022	2,641.35

CONTINÚA



<b>2023</b>	2,698.16
<b>2024</b>	2,752.94
<b>2025</b>	2,805.83
<b>2026</b>	2,857.00
<b>2027</b>	2,906.64
<b>2028</b>	2,954.93
<b>2029</b>	3,002.00
<b>2030</b>	3,047.96
<b>2031</b>	3,092.92
<b>2032</b>	3,136.95
<b>2033</b>	3,180.11
<b>2034</b>	3,222.45
<b>2035</b>	3,264.02
<b>2036</b>	3,304.85
<b>2037</b>	3,344.98
<b>2038</b>	3,384.43
<b>2039</b>	3,423.23
<b>2040</b>	3,461.40
<b>2041</b>	3,498.95
<b>2042</b>	3,535.92
<b>2043</b>	3,572.30
<b>2044</b>	3,608.12
<b>2045</b>	3,643.39
<b>2046</b>	3,678.12
<b>2047</b>	3,712.33
<b>2048</b>	3,746.01
<b>2049</b>	3,779.19
<b>2050</b>	3,811.88

Por la dinámica misma de la carga se debe considerar que el crecimiento de la demanda debe ser monitoreado por parte de la ELEPCO S.A. con la finalidad de

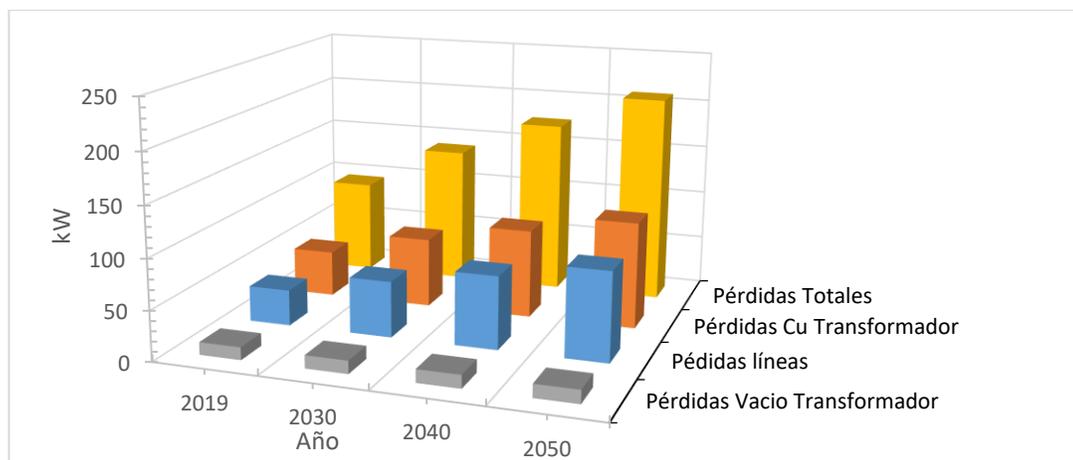
establecer los correctivos necesarios para garantizar la correcta operatividad de las redes subterráneas proyectadas.

#### 4.6. Comportamiento futuro del sistema actual

Para fortalecer la decisión de implementar el sistema de red subterránea en el centro del cantón Salcedo, se ejecutaron flujos de carga considerando la demanda proyectada para evaluar el comportamiento del sistema; los resultados obtenidos se presentan en la tabla 17.

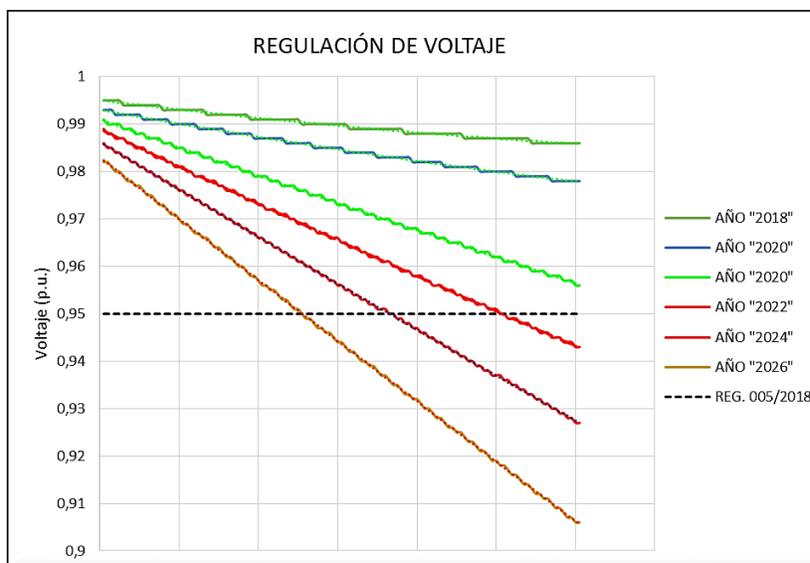
**Tabla 17.**  
*Resultados de Flujos de carga*

Resumen	kW	kW	kW	kW
Año	2019	2030	2040	2050
<b>Pérdidas en las líneas</b>	36,14	56,36	73,27	89,44
<b>Pérdidas de carga del transformador</b>	46,37	70,12	89,3	107,32
<b>Pérdidas en vacío del transformador</b>	12,61	12,95	13,12	13,3
<b>Pérdidas totales</b>	<b>95,12</b>	<b>139,43</b>	<b>175,69</b>	<b>210,06</b>



**Figura 13.** Resumen de pérdidas

## Gráficas de perfiles de voltaje



**Figura 14.** Resultados de Perfil de Voltaje

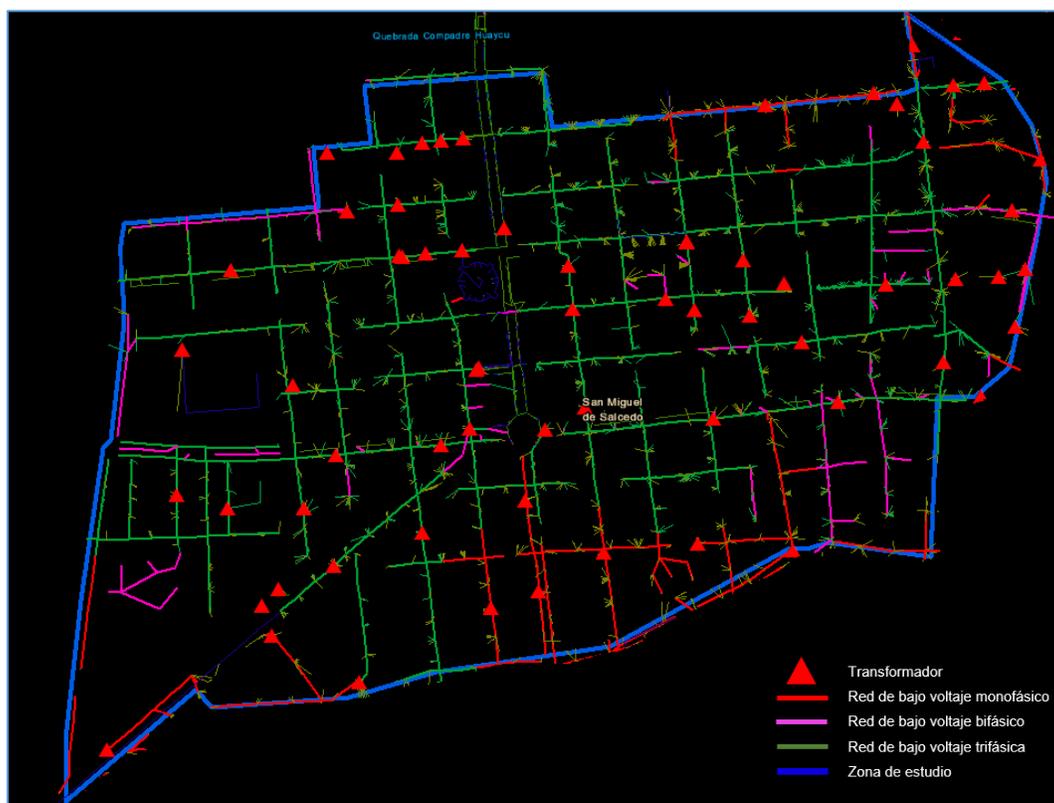
Cuando la regulación de voltaje se ubica por debajo de los límites establecidos, las pérdidas de potencia promedio para el sistema se incrementan de forma cuadrática, donde se aprecia el incremento de pérdidas mientras pasa los años.

De todo el análisis realizado, se justifica plenamente que es necesario realizar una repotenciación o cambio de la red, para seguir cumpliendo con las regulaciones de calidad de energía establecidas por los entes de control en el país.

### 4.7. Diagnostico actual de los circuitos secundarios

Las redes de bajo voltaje del centro de la ciudad de Salcedo, son de tipo monofásica de 3 hilos (240/120 V), bifásica y trifásica a 3 ó 4 hilos (220/127 V), con una longitud aproximada de 21.22 km, compuestas principalmente por conductores de calibres de aluminio tipo ACSR, No. 1/0 AWG, hasta el conductor de aluminio tipo ACSR, calibre 2 AWG, predominando el conductor de aluminio No. 2 AWG, lo que conlleva al incremento

de pérdidas, circuitos que cubren áreas pequeñas, elevado número de transformadores que aportan a las pérdidas fijas y circuitos con regulaciones de voltaje fuera de los valores establecidos por los entes de control.



**Figura 15.** Circuitos secundarios dentro de la zona de estudio

Mediante la información proporcionada por la Dirección de Planificación, se analizó y evaluó todos los circuitos secundarios, los cuales presentan la siguiente composición:

**Tabla 18.**

*Circuitos secundarios existentes*

SECUNDARIOS AEREOS	
COMPOSICION	LONGITUD
(AB*2)+(2)	3,592.40
(AB*1/0)+(1/0)	853.00
(AB*2)+(4)	962.10
(AB*1/0)+(2)	4,492.60

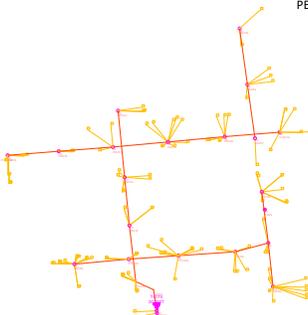
CONTINÚA



(3*1/0)+(2)	1,960.40
(3*2)+(4)	5,262.80
(3*2)+(1/0)	417.30
(AB*8)	466.80
(3*3/0)+(3/0)	1,512.70
(3*2)+(2)	344.90
(A*2)	205.90
(AB*2)	33.60
(AB*4)+(2)	248.00
(3*3/0)+(1/0)	127.10
(AB*3/0)+(1/0)	96.20

Para conocer el comportamiento actual de los circuitos secundarios se realizaron los respectivos cálculos de regulaciones de voltaje para cada transformador, a continuación, se presenta un ejemplo de una hoja cálculo.

REDES SECUNDARIAS COMPUTO DE CAIDAS DE VOLTAJE										
PROYECTO :	RED SUBTERRANEA SALCEDO CENTRO			DEPARTAMENTO :	PLANIFICACION					
UBICACION :	SALCEDO			TRANSFORMADOR :	# 4174 Tipo: 3C100T					
TIPO INST :	AEREA			ABONADO TIPO :	C					
CIRCUITO Nº:	4174			NUMERO TOTAL DE CUEN:	126					
LIMITE DE CAIDA DE TENSION :	4			DMUp :	1.7					
KVA Diseño (Incluye PEC):	102.8			PLANO DE REFERENCIA :	1 DE 1					
ESQUEMA :				PERIODO :	720 HORAS					

DATOS		DMD	CIRCUITO	CONDUCTOR		COMPUTO			PÉRDIDAS	
TRAMO	ABONADOS	KVA	Nº. CONDUC.	CALIB. AWG	FDV KVA-m	KVA-m	CAIDA DE TENSION (%)	ENERGÍA		
REF	Long(m)						PARCIAL	ACUMULADO	PARCIAL KW	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C100T-P13105	1.6	1	3.6	3F4C	1/0	525	5.76	0.01	0.01	0.05
C100T-P5578	14.1	61	61.1	3F4C	1/0	525	861.51	1.64	1.64	137.62
S5789-P11038	12.9	61	61.1	3F4C	1/0	525	788.19	1.5	3.14	125.87
I10385-P5574	37.3	51	52.3	3F4C	1/0	525	1950.79	3.72	6.86	267.20
S5742-P5574	32.1	47	48.8	3F4C	1/0	525	1566.48	2.98	9.84	199.73
P55743-N1	20	40	42.5	3F4C	1/0	525	850	1.62	11.46	94.56
N1-P55752	30	21	25.5	3F4C	1/0	525	765	1.46	12.92	51.13
S5752-P5575	37.6	12	18.3	3F4C	1/0	525	688.08	1.31	14.23	32.92
S5753-P10210	36.4	6	11.5	3F4C	1/0	525	418.6	0.8	15.03	12.64
N1-P55751	5.6	16	22.4	3F4C	1/0	525	125.44	0.24	11.7	7.38
S5751-P5575	35.9	13	19.3	3F4C	1/0	525	692.87	1.32	13.02	34.99
S5750-P5574	33.9	10	16	3F4C	1/0	525	542.4	1.03	14.05	22.63
N1-P55744	22.9	3	7.7	3F4C	1/0	525	176.33	0.34	11.8	3.60
							Máxima Caída de		15.03	990.32

**Figura 16.** Regulación de Voltaje para un Transformador Tipo

En la Tabla 19 se presenta un resumen de los resultados obtenidos:

**Tabla 19.**  
*Pérdidas y regulación de voltaje en transformadores.*

<b>CAIDAS DE VOLTAJE Y PÉRDIDAS DE ENERGÍA</b>			
<b>CODIGO DEL TRANSFORMADOR</b>	<b>POTENCIA</b>	<b>MAX CAIDA DE VOLTAJE %</b>	<b>PERDIDAS DE ENERGÍA KWH</b>
928	3C90T	11.52	621.52
1619	1A15T	4.84	49.14
2002	1A25T	12.24	258.65
2004	1A10T	15.45	381.14
2459	1A37.5T	1.25	24.05
4171	3C75T	6.24	217.89
4174	3C100T	15.03	990.32
4175	1A37.5T	12.28	1,158.12
4177	3C75T	10.97	697.76
4181	3C45T	15.06	770.28
4182	3C90T	15.83	1,571.78
4185	1A37.5T	5.07	158.16
4189	3C45T	6.35	241.46
5079	1A25T	3.18	63.36
5102	1A50T	10.71	577.49
5117	3C75T	8.17	328.93
5507	1A15T	4.08	73.14
5526	1A15T	3.57	70.02
5918	3C50T	8.33	227.99
5921	3C50T	8.2	325.93
6862	1A25T	7.68	192.93
7021	1A37.5T	6.19	233.51
7024	1A37.5T	9.79	523.86
7488	3C30T	7.27	279.68
7490	3C30T	5.88	160.09
7516	3C100T	33.54	1,344.76
7620	1A37.5T	3.08	26.08
7693	3C50T	4.76	136.01
7718	3C45T	18.78	1,219.14
7761	3C75T	24.08	1,202.21
8284	3C30T	8.49	579.76
9135	3C75T	6.08	190.81
9141	3C90T	5.9	690.89

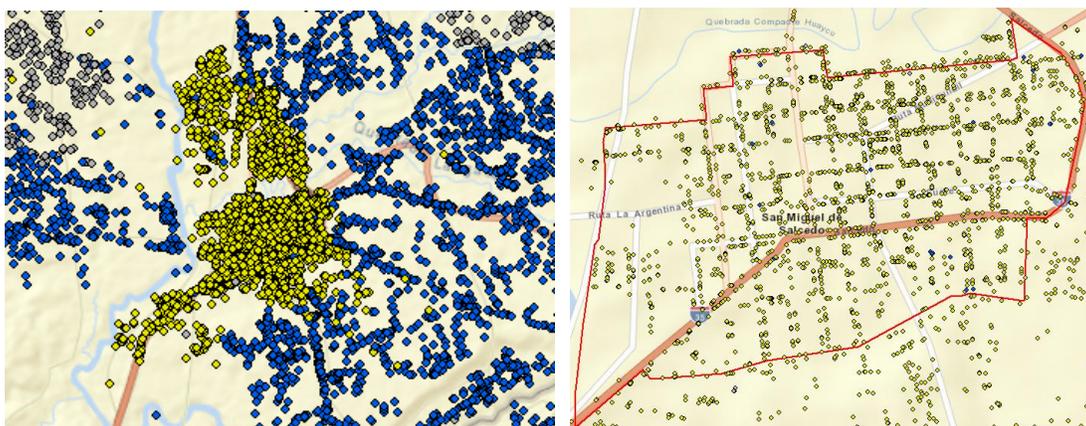
**CONTINÚA** 

<b>9631</b>	3C100T	10.53	942.06
<b>9632</b>	3C50T	12.38	803.95
<b>9706</b>	3C50T	1.95	42.09
<b>9726</b>	3C90T	4.24	217.03
<b>9998</b>	3C45T	1.62	26.40
<b>10295</b>	3C50T	2.44	59.07
<b>10296</b>	3C50T	10.17	254.82
<b>TOTAL</b>			<b>17,932.28</b>

Fuente: (Hoja de cálculo - Excel)

Como se puede observar en la tabla anterior, en el punto más alejado de la fuente, existe una cantidad considerable de circuitos que incumplen los porcentajes establecidos para la calidad de producto, de acuerdo a la regulación ARCONEL N°005/18, determinándose valores inaceptables como del 33,54 % de caída de voltaje y con pérdidas de energía acumulada de 17.932,28 kW-h/mes dentro de la zona de estudio.

Los cálculos de regulaciones de voltaje, fueron realizados considerando una Demanda Máxima Unitaria proyectada (DMUp) de 1,7 KW que corresponden a los usuarios de estrato tipo C, dato que fue proporcionado por la Dirección de Planificación, Jefatura de proyectos; en la Figura 17, se aprecia la estratificación de los usuarios de la ELEPCO S.A. para el cantón Salcedo y el área de estudio.



**Figura 17.** Estratificación de usuarios

Fuente: (Cymdist - EATON CORPORATION)

En la Tabla 20 se presenta un resumen de la estratificación de usuarios y los valores de Demanda Máxima Unitaria empleadas por la ELEPCO S.A. para el diseño de sus redes de distribución.

**Tabla 20.**  
*Consumos de energía por estrato de clientes.*

Color	Estrato	DMUp	Consumo (kWh/mes/cliente)
○	E	0,9	0 - 100
●	D	1,4	100 - 160
●	C	1,7	160 - 270
●	B	2,2	270 - 500
●	A	2,5	>500

#### 4.8. Diagnostico actual del sistema de alumbrado público.

Actualmente, toda la ciudad de salcedo se encuentra iluminada mediante luminarias de vapor de Sodio de alta presión, con una mayor incidencia de luminarias de 150 W de potencia; la modelación para calcular los niveles de iluminación actuales, se lo realizará con luminarias de esta potencia, en configuración unilateral, con las mismas consideraciones que se plantean para el proyecto de soterramiento, es decir con una clasificación de vía tipo M1. En la Tabla 21 se presenta un resumen de las luminarias existentes.

**Tabla 21.**  
*Resumen de equipos de iluminación en el área intervenida.*

CANTIDAD DE LUMINARIAS INSTALADAS			
POTENCIA (W)	SODIO	MERCURIO	POTENCIA (kW)
100	65		6.500
150	371		55.650
175		17	2.975
250	328		82.000
400	47		18.800
10		201	2.010
<b>POTENCIA TOTAL EN LUMINARIAS</b>			<b>167.935</b>

Las calles de Salcedo, se encuentran iluminadas mediante una configuración unilateral, con distancias y alturas variables.

Para el estudio integral de iluminación, se realizó un recorrido por las calles y avenidas de la ciudad para determinar la altura de montaje e inter distancia promedio que representen al universo de luminarias instaladas con el tipo de vía.

**Tabla 22.**  
*Resumen de la Norma CONELEC 008/11.*

Parámetro	Opciones	Valor de Ponderación de Vp	Vp seleccionado
<b>Velocidad</b>	Elevado	1	1
	Alto	0.5	
	Moderado	0	
<b>Volumen del Tráfico</b>	Elevado	1	1
	Alto	0.5	
	Moderado	0	
	Bajo	-0.5	
	Muy Bajo	-1	
<b>Composición de Tráfico</b>	Mezcla: con un alto porcentaje de tráfico no motorizado	2	1
	Mezcla	1	
	Solamente motorizado	0	
<b>Separación de vías</b>	No	1	0
	Si	0	
<b>Densidad de la intersección</b>	Alta	1	1
	Moderada	0	
<b>Vehículo Parqueados</b>	Se permite	0.5	-
	No se permite	0	
<b>Iluminación Ambiental</b>	Alta	1	1
	Moderada	0	
	Baja	-1	
<b>Guías Visuales</b>	Pobre	0.5	-
	Moderado o bueno	0	

CONTINÚA



	$\sum V_{p_{seleccionado}}$	5.0
<b>CATEGORÍA DE VÍA:</b>	M1	
Número de la Clase de iluminación $M = \left( 6 - \sum V_{ps} \right)$		

Fuente: (Consejo Nacional de Electricidad, 2006)

En la Tabla 21, se presentan las consideraciones realizadas de acuerdo a la Regulación CONELEC 008/11 Prestación del servicio de alumbrado público general.

Con las consideraciones realizadas en la Tabla 22, se determina que, el tipo de vía para el centro de la ciudad de Salcedo según la regulación CONELEC 008/11 corresponde a una vía tipo M1.

Para obtener resultados cercanos a la realidad se realizó el respectivo levantamiento de las calles y avenidas, como se ilustra en la Tabla 23.

**Tabla 23.**  
*Categorización de vías.*

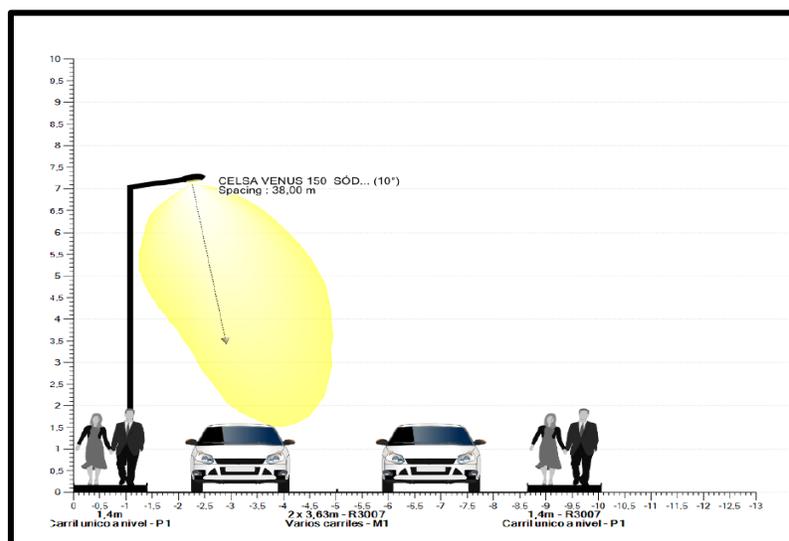
MEDIDAS DE LAS CALLES A SER SOTERRADAS				
NOMBRE	CALZADA (m)	ACERA (m)	PARTERRE (m)	OBSERVACIONES
<b>CALLES EN SENTIDO NORTE-SUR</b>				
PEDRO VICENTE MALDONADO	7.94	1.28		
RICARDO GARCÉS	7.48	1.29		
LUIS A. MARTÍNEZ	7.34	1.47		
JUAN LEÓN MERA	7.18	1.4		
ANA PAREDES	6.89	1.44		
PADRE SALCEDO	7.32	1.3		
GONZÁLEZ SUÁREZ	7.05	1.45		
GARCÍA MORENO	<b>11.68</b>	<b>1.41</b>		<b>AVENIDA</b>
BOLÍVAR	7.22	1.43		
9 DE OCTUBRE	7.15	1.4		
ABDÓN CALDERÓN	7.37	1.31		
GUAYAQUIL	7.26	1.36		
AMAZONAS	7.19	1.57		
DR. MARIO MOGOLLÓN	<b>12.2</b>	<b>1.6</b>		<b>AVENIDA</b>
MANUEL SALGADO	6.94	1.42		

CONTINÚA



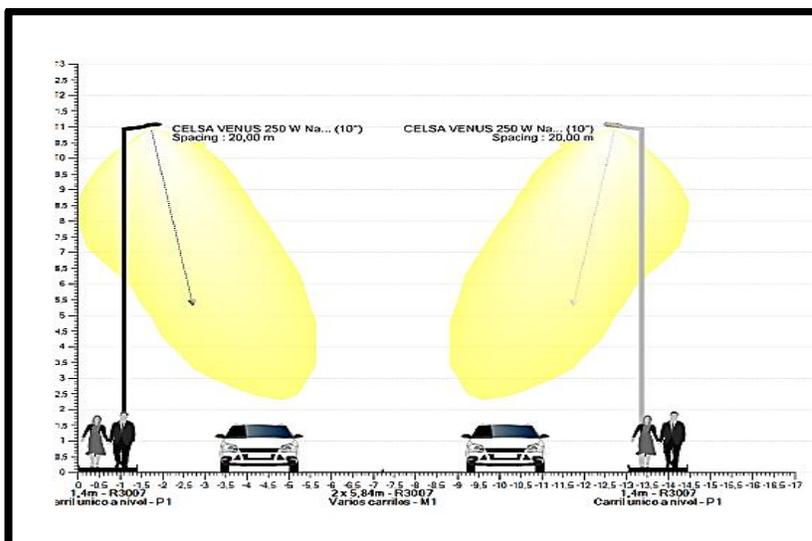
PASTORA ITURRALDE	6.98	1.45		
<b>CALLES EN SENTIDO ORIENTE-OCCIDENTE</b>				
QUITO	8.24	1.49		
BELISARIO QUEVEDO	7.26	1.4		
VICENTE LEÓN	7.36	1.35		
SUCRE	7.17	1.42		
24 DE MAYO	7.53	1.45		
ROCAFUERTE	7.51	1.38		
OLMEDO	<b>6.59</b>	<b>1.45</b>	<b>1.66</b>	<b>AVENIDA</b>
JAIME MATA YEROVI	<b>6.8</b>	<b>1.5</b>	<b>1.48</b>	<b>AVENIDA</b>
MEJÍA	7.53	1.41		
JULIO HIDALGO	7.22	1.38		
19 DE SEPTIEMBRE	5.98	1.37		
ÁNGEL SALGADO	7.09	1.48		

Con las consideraciones antes mencionadas y con las medidas de las diferentes calzadas y aceras del proyecto de soterramiento, se modeló las condiciones actuales en el software ULYSSE, análisis que refleja la calidad de luminancia del sistema de alumbrado actual, que está compuesto en su totalidad por luminarias de vapor de Sodio; los resultados obtenidos de la modelación se presentan en la Figura 18.



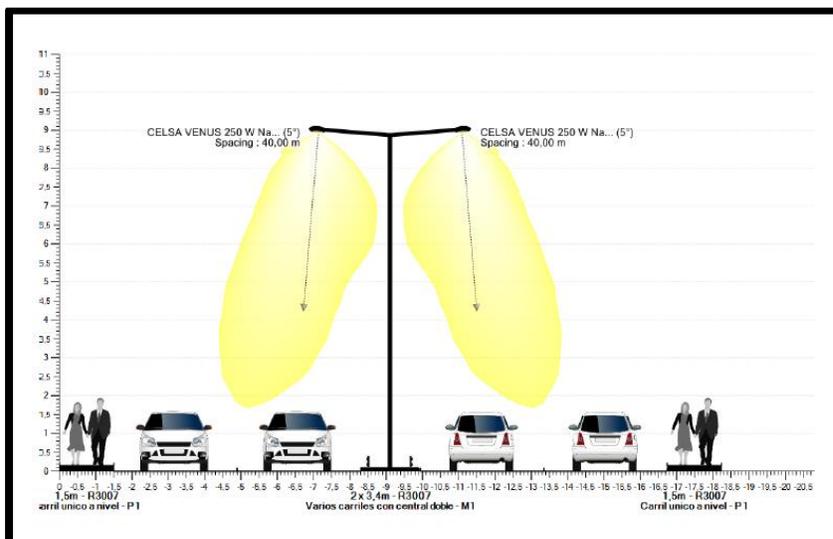
**Figura 18.** Modelación de la vía típica de la ciudad

Fuente: (ULYSSE)



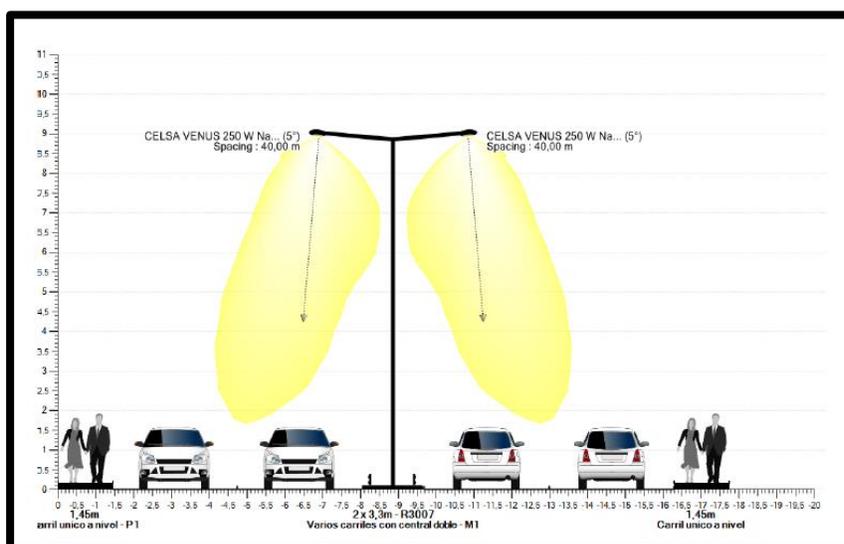
**Figura 19.** Iluminación existente calle García Moreno de Salcedo

Fuente: (ULYSSE)



**Figura 20.** Iluminación existente calle Jaime Mata Yerovi de Salcedo

Fuente: (ULYSSE)



**Figura 21.** Iluminación existente calle Olmedo de Salcedo

Fuente: (ULYSSE)

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 24.

**Tabla 24.**

*Resultado de la modelación software ULYSSE iluminación existente.*

	CALLES Y AVENIDAS DE SALCEDO			
	GENERAL	AV. GARCÍA MORENO	AV. JAIME MATA	AV. OLMEDO
<b>CLASE DE ALUMBRADO TIPO DE VIA</b>	M1	M1	M1	M1
<b>LUMINANCIA cd/m2) recomendado</b>	2	2	2	2
<b>LUMINARIA LED SELECCIONADA</b>	VENUS 150 W Na	VENUS 250 W Na	VENUS 250 W Na	VENUS 250 W Na
<b>ALTURA DE MONTAJE (m)</b>	7	11	9	9
<b>INTERDISTANCIA (m)</b>	38	20	38	38
<b>ANGULO DE INCLINACION (°)</b>	10	10	10	10
<b>LONGITUD DEL BRAZO (m)</b>	0.5	0.5	0.8	0.8
<b>POTENCIA ESTIMADA (W)</b>	150	250	250	250
<b>LUMINANCIA (Cd/m2) OBTENIDO (observador 1)</b>	1.3	2.81	3.23	3.03

CONTINÚA



<b>LUMINANCIA (Cd/m<sup>2</sup>) OBTENIDO (observador 2)</b>	1.21	2.81	2.98	3.27
<b>U<sub>o</sub> Mínimo (observador 1)</b>	35	69	40	41
<b>U<sub>o</sub> Mínimo (observador 2)</b>	34	76	38	39
<b>U<sub>L</sub> Mínimo (observador 1)</b>	56	77	61	61
<b>U<sub>L</sub> Mínimo (observador 2)</b>	58	77	56	55
<b>TI %</b>	13.5	9.2	10	10.10
<b>SR Mínimo</b>	0.5	0.5	0.5	0.5
<b>OBSERVACIÓN</b>	<b>NO CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>NO CUMPLE</b>	<b>NO CUMPLE</b>

Fuente: (ULYSSE)

Como se observa en Tabla 24, los resultados obtenidos indican que 3 de las avenidas principales no cumplen con los valores recomendados en la regulación CONELEC 008/11, a excepción de la Avenida García Moreno, que es un proyecto nuevo de regeneración urbana; es por ello que se resume la norma en la Tabla 25.

**Tabla 25.**

*Valores recomendados según Norma CONELEC 008/11 (CIE 140).*

<b>Clase de Alumbrado</b>	<b>L(cd/m<sup>2</sup>) Mantenimiento Mínimo</b>	<b>U<sub>o</sub> % Mínimo</b>	<b>TI % Máximo</b>	<b>U<sub>L</sub> % Mínimo</b>	<b>SR Mínimo</b>
<b>M1</b>	2.00	40	10	70	0.5
<b>M2</b>	1.50	40	10	70	0.5
<b>M3</b>	1.00	40	10	50	0.5
<b>M4</b>	0.75	40	15	NR	NR
<b>M5</b>	0.50	40	15	NR	NR
<b>NR no es requerido</b>					

Fuente: (Consejo Nacional de Electricidad, 2006)

## CAPÍTULO V

### PROPUESTA

En este capítulo se realiza el segundo análisis, se efectúa el diseño de la nueva red de tipo subterráneo, tomando en cuenta criterios técnicos de diseño como: recorridos óptimos, distribución de carga, espacios físicos para la ubicación de transformadores, evolución de la demanda, alumbrado público entre otros criterios; análisis efectuado mediante el software Cymdist, con una proyección de 30 años, reflejando una reducción en las pérdidas, perfiles de voltaje dentro de lo establecido, transformadores operando bajo su capacidad nominal; con estos resultados obtenidos se confirma la efectividad del nuevo sistema.

Consecuente a esto se realiza un análisis técnico-económico de la nueva red de distribución subterránea del área de estudio del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi.

#### 5.1. Datos informativos

**Nombre del sector:** Área urbana sector centro del cantón Salcedo.

**Ubicación:** Cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi.

**Beneficiarios:** Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S. A. (ELEPCO S. A.)

#### 5.2. Objetivos

##### 5.2.1. Objetivo General

Realizar el Diseño de las redes eléctricas de distribución soterradas del área urbana del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi utilizando la normativa vigente por el Ministerio

de Energía y Recursos Naturales no Renovables (MERNNR) y la ELEPCO S.A para mejorar la calidad de servicio eléctrico en el sector y disminuir la contaminación visual.

### **5.2.2. Objetivos Específicos**

- Realizar un levantamiento de información real actual y detallada de las redes de distribución existentes en el sector.
- Realizar el estudio y proyección de la demanda máxima unitaria.
- Seleccionar un paquete informático.
- Elaborar un resumen de la normativa aplicable para redes subterráneas.
- Realizará corrida de flujos o simulación de la red de distribución existente en el sector que va hacer intervenido mediante un paquete informático.
- Diseñar la nueva red eléctrica subterránea de medio voltaje, bajo voltaje, y alumbrado público.
- Simular la nueva red eléctrica de distribución mediante un paquete informático incorporado al sistema existente.
- Realizar el estudio de la factibilidad financiera y económica en la implementación del nuevo sistema eléctrico de distribución subterránea.
- Realizar el análisis técnico-económico del sistema en función de las consideraciones de diseño de ELEPCO S.A.

### **5.3. Diseño de la red proyectada**

Antes de realizar cualquier diseño de redes, es necesario cumplir con las normas establecidas para los sistemas eléctricos a analizar tales como: regulaciones de voltaje, pérdidas técnicas de energía, topología de las redes, alumbrado público, entre otras.

Para determinar la iluminación adecuada en las calles o avenidas del centro histórico de la ciudad de Salcedo, se debe tomar en cuenta las características de las calles que conforman el área intervenida, luego de ello en base a la topología de las mismas y espacios físicos en el sitio, determinar los recorridos óptimos y las posibles ubicaciones

de los centros de transformación, cumpliendo con las condiciones técnicas (centro de carga) y topológicas en cuanto a la disponibilidad de espacio; además, se debe tomar en cuenta los dos tipos de demanda que abastecerán estos centros de transformación, es decir de alumbrado público y propios de los usuarios; para finalmente con estas consideraciones realizar un nuevo estudio eléctrico que brinde a las nuevas condiciones de operación, seguridad, confiabilidad y calidad de energía para el usuario final.

#### **5.4. Propuesta de soterramiento calles y avenidas del cantón Salcedo**

#### **5.5. Red de medio voltaje**

Una vez analizado el sistema eléctrico actual de la red de medio voltaje, se determina que el sistema ha ido creciendo desordenadamente y ajustándose a las necesidades de la ciudad de acuerdo a su crecimiento, lo que refleja una falta de planificación por parte de la distribuidora, Es por esto que mediante el presente estudio se realiza una reconfiguración integral, con el fin de atender de mejor manera a los clientes existentes y futuros, garantizando el desarrollo económico de la ciudad.

Para el trazado subterránea del sistema de medio voltaje, se considera en primer lugar el espacio para la ubicación de los centros de transformación los cuales deben estar ubicados en lo posible en lugares donde se permitan la instalación de los nuevos equipos y que se localicen en las proximidades de los centros de carga con el fin de reducir las pérdidas por la construcción de circuitos secundarios extensos.

La configuración propuesta, considera tres puntos de alimentación, que faciliten futuras transferencias de carga y conexión con nuevas subestaciones proyectadas por la ELEPCO S.A.

## 5.6. Diseño del nuevo alimentador

En la Figura 19, se puede visualizar el recorrido del alimentador con sus puntos de conexión los cuales se describen a continuación:

El primero nodo de conexión se realizará a la altura del colegio 19 de septiembre, cuyo recorrido avanza por la Calle Belisario Quevedo hasta alimentar al primer centro de transformación que se instalará en la intersección de las calles Belisario Quevedo y Vicente Maldonado, el alimentador continua su recorrido por esta calle hasta llegar a la plaza Eloy Alfaro donde se instalará el segundo centro de transformación en la esquina de las calles Sucre y Ricardo Garcés. Consecutivamente el alimentador avanza por la calle Sucre hasta el mercado central en donde se instalará un nuevo centro de transformación en las calles Sucre y Padre Salcedo.

El alimentador principal continua por la calle sucre hasta llegar al parque central, en donde se planifica instalar un centro de transformación en las calles Bolívar y Sucre, y una caja de maniobra, que facilitara la derivación de dos alimentadores; el primero que recorre por la Av. García Moreno hasta llegar a la calle Quito en donde se instalará un centro de transformación en la esquina de las calles Quito y Gonzales Suarez, con el objetivo de establecer conexión con el alimentador número dos, que viene de la subestación Salcedo existente, a la altura del hospital general.

El alimentador que se deriva de la caja de maniobras situada en la esquina del parque central avanza por las calles Bolívar, Gonzales Suarez y padre Salcedo, hasta llegar a la plazoleta de San Antonio, en donde se considera la colocación de una nueva caja de derivación. De esta caja continua un alimentador hasta la calle 19 de septiembre, y en la manzana comprendida entre las calles Gonzales Suarez y padre Salcedo, se coloca un centro de transformación, el alimentador continúa por la Av. 19 de septiembre hasta la esquina de la calle Abdón Calderón, en donde se instalará otro centro de transformación, con lo que se atenderá a todos los clientes ubicados en el área definida por el recorrido de los alimentadores.

De la caja de maniobras de la plaza San Antonio se deriva un alimentador que avanza por la calle Julio Hidalgo hasta la calle Juan León Mera para continuar por esta hacia el norte hasta la calle Mejía, para instalar otro centro de transformación entre las calles Juan León Mera y Luis A. Martínez. Desde este punto el alimentador continúa por la calle Luis A. Martínez hasta la Av. Olmedo y continúa por esta avenida hasta la avenida del cementerio donde nuevamente se tiene una transición de subterránea a aérea.

Este último punto también es importante por cuanto en este punto se puede recibir o entregar energía al momento de realizar una transferencia de carga. Finalmente, desde la caja de maniobras ubicada en el parque central continúa el alimentador por la calle sucre hasta conectarse con una nueva caja de maniobras para poder derivar un circuito para alimentar a dos centros de transformación el primero ubicado en las calles Manuel Salgado y Alejandro Salgado; y el segundo en la intersección de las calles Mejía y Avenida Jaime Mata Yerovi.



**Figura 22.** Recorrido del alimentador con sus puntos de conexión.

## 5.7. Selección del conductor de medio voltaje

Una vez definida el trazado de los alimentadores primarios; finalmente, para la selección del conductor de medio voltaje se realizaron las siguientes consideraciones:

- Las corrientes proyectadas del sistema subterráneo determinadas en base a los flujos de carga hasta el año 30.
- Caídas de voltaje hasta el año horizonte
- Pérdidas de potencia

En la Tabla 26, se ilustra de mejor manera las consideraciones realizadas para la selección del cable.

**Tabla 26.**

*Resumen del flujo de carga para diferentes consideraciones de cables*

<b>Año</b>	<b>Cable</b>	<b>Capacidad del Cable (A)</b>	<b>I<sub>max</sub> Carga (A)</b>	<b>Pérdidas (kW)</b>	<b>Caída de voltaje (PU)</b>
<b>2050</b>	2/0	185	159	127	<b>0.97</b>
<b>2050</b>	3/0	210	159	123	<b>0.98</b>
<b>2050</b>	4/0	290	159	121	<b>0.98</b>

Fuente: (Cymdist - EATON CORPORATION)

En base a las corridas de flujo realizado en el software CYMDIST, se determina que para poder operar adecuadamente el sistema de distribución en condiciones normales y en condiciones de transferencias de carga el conductor adecuado es el XLPE CU 15 KV. Calibre 4/0, con lo que se garantiza la calidad y confiabilidad del sistema eléctrico.

## 5.8. Transformadores proyectados

La ubicación de los centros de transformación en el sistema de redes subterráneas, se lo realiza considerando los centros de carga y que exista el espacio adecuado en el punto determinado, lo cual en una ciudad eminentemente comercial ha resultado una

actividad casi imposible por la falta de espacios públicos donde se pueda instalar los equipos de transformación.

Como se puede observar en los recorridos de los circuitos de bajo voltaje existentes, la empresa distribuidora tiene instalando transformadores de baja capacidad con la finalidad de mantener los niveles mínimos de calidad del servicio; esto por la imposibilidad de ingresar con circuitos aéreos de medio voltaje, o peor aún realizar el cambio de calibre de conductores en redes de bajo voltaje que actualmente está compuesto por bajos calibres, afectando directamente a las regulaciones de voltaje.

Por lo que, se considera estos dos aspectos para plantear el diseño de soterramiento de redes, trabajo de campo exhaustivo con el fin de determinar los posibles sitios donde se tenga el espacio suficiente que permita instalar los centros de transformación.

Por lo expuesto, el proyecto plantea la utilización de transformadores tipo padmounted en sitios donde se tenga el espacio suficiente y que facilite la instalación para abastecer a un mayor número de clientes, evitando así el uso de varios transformadores de menor capacidad.

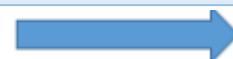
En la Tabla 27, se describe la ubicación de los centros de transformación.

**Tabla 27.**

*Ubicación de los transformadores Padmounted proyectados.*

CÓDIGO DEL TRANSFORMADOR	POTENCIA	NÚMERO DE USUARIOS	UBICACIÓN
1	3C150T	132	B. QUEVEDO Y V. MALDONADO
2	3C250T	224	SUCRE Y RICARDO GARCÉS
3	3C400T	350	SUCRE Y PADRE SALCEDO
4	3C200T	157	GONZÁLEZ SUÁREZ Y QUITO
5	3C300T	200	SUCRE Y BOLÍVAR
6	3C200T	97	24 DE MAYO ENTRE GUAYAQUIL Y AMAZONAS
7	3C200T	120	MEJÍA Y JAIME MATA YEROVI
8	3C200T	88	ALEJANDRO SALGADO Y 19 DE SEPTIEMBRE
9	3C200T	84	ABDÓN CALDERÓN Y 19 DE SEPTIEMBRE

CONTINÚA



10	3C300T	208	GONZÁLEZ SUÁREZ ENTRE OLMEDO Y MEJÍA
11	3C200T	88	19 DE SEPTIEMBRE ENTRE G. SUAREZ Y P. SALCEDO
12	3C200T	157	MEJÍA ENTRE LUIS A. MARTÍNEZ Y J. L. MERA
13	3C200T	62	INTERSECCIÓN ENTRE OLMEDO Y SALCEDO TENA

### 5.9. Cálculo de los Transformadores de Distribución

Para el dimensionamiento de los transformadores de distribución se considera la aplicación de la siguiente ecuación:

$$DD = \left( \frac{D_{max} + D_{A/P} + D_{cargas especiales}}{FP} \right) \quad (2)$$

**Donde:**

DD Demanda de Diseño en los bornes secundarios del transformador (kVA)

$D_{max}$  Demanda máxima coincidente (kW)

$D_{A/P}$  Demanda de Alumbrado Público (kW)

$D_{cargas especiales}$  Demanda de cargas especiales (Motores, Calefactores, etc) (kW)

FP Factor de potencia

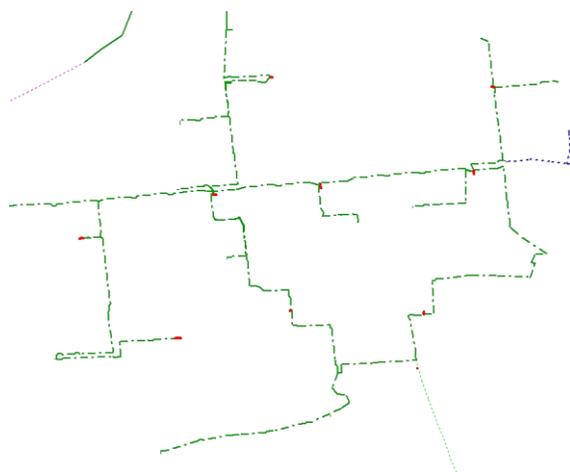
### 5.10. Flujos de carga proyectados

Una vez ya definido el recorrido de los alimentadores primarios, calibre del cable y la ubicación de los transformadores de distribución, se ejecutan flujos de carga para los diferentes escenarios posibles, obteniendo como resultado una reducción en las pérdidas.

Diagrama unifilar existente



Diagrama unifilar proyectado

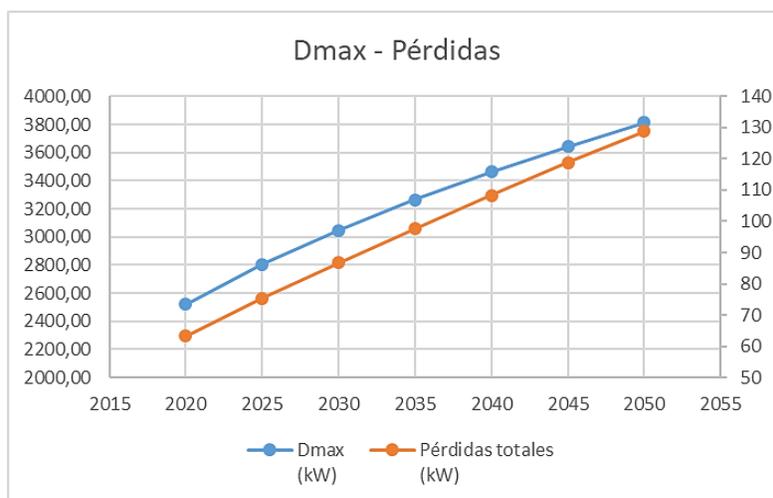
**Figura 23.** Diagrama unifilar de medio voltaje.

Fuente: (Cymdist - EATON CORPORATION)

**Tabla 28.***Resumen de flujos de carga con demanda proyectada.*

AÑO	DMAX (KW)	PÉRDIDAS EN LAS LÍNEAS	PÉRDIDAS EN LOS CABLES	PÉRDIDAS DE CARGA DEL TRANSFORMADOR	PÉRDIDAS EN VACÍO DEL TRANSFORMADOR	PÉRDIDAS TOTALES
2020	2,521.82	24.12	5.96	20.67	12.51	63.26
2025	2,805.83	29.90	7.40	25.60	12.46	75.35
2030	3,047.96	35.33	8.74	30.23	12.41	86.71
2035	3,264.02	40.56	10.04	34.69	12.37	97.65
2040	3,461.40	45.65	11.30	39.04	12.33	108.32
2045	3,643.39	50.62	12.53	43.28	12.30	118.73
2050	3,811.88	55.46	13.73	47.40	12.26	128.85

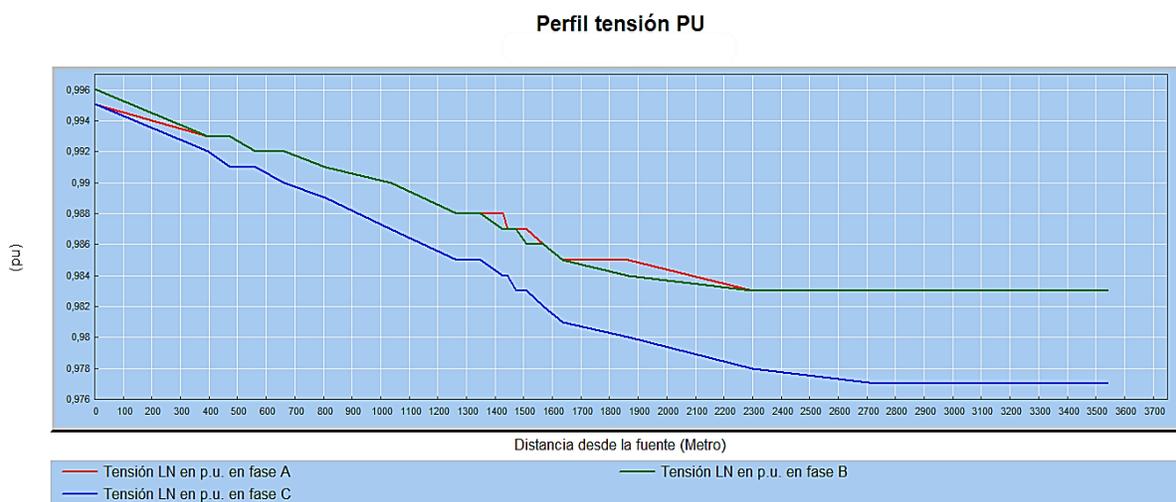
Fuente: (Cymdist - EATON CORPORATION)



**Figura 24.** Pérdidas para 30 años.

### 5.11. Regulación de voltaje

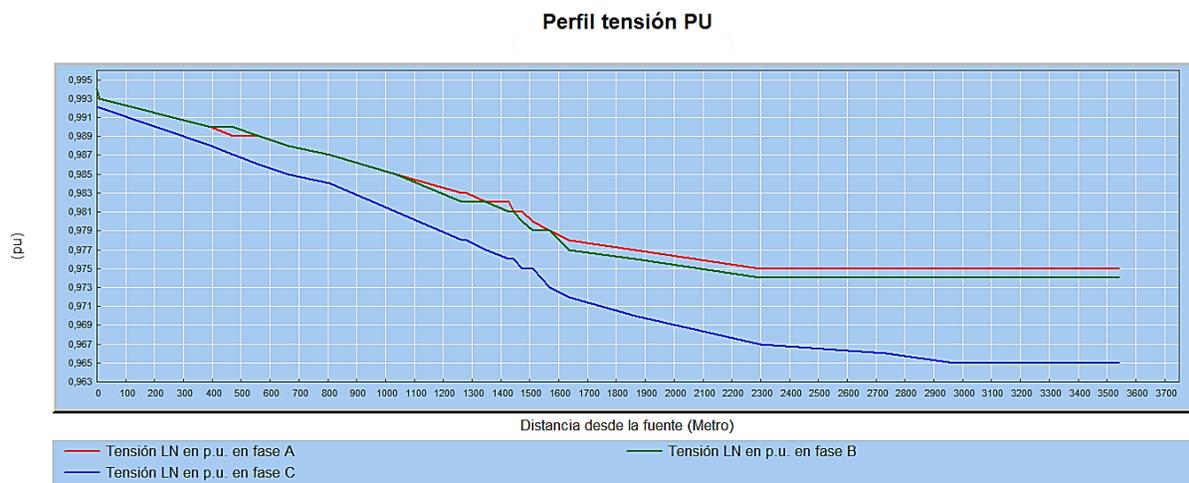
Mediante el análisis de perfiles de voltaje en la parte mas lejana del alimentador, se puede determinar como se comportaría el alimentador una vez reconfigurado el sistema desde el año 0 hasta el año 30.



**Figura 25.** Perfil de voltaje año 2020

Fuente: (Cymdist - EATON CORPORATION)

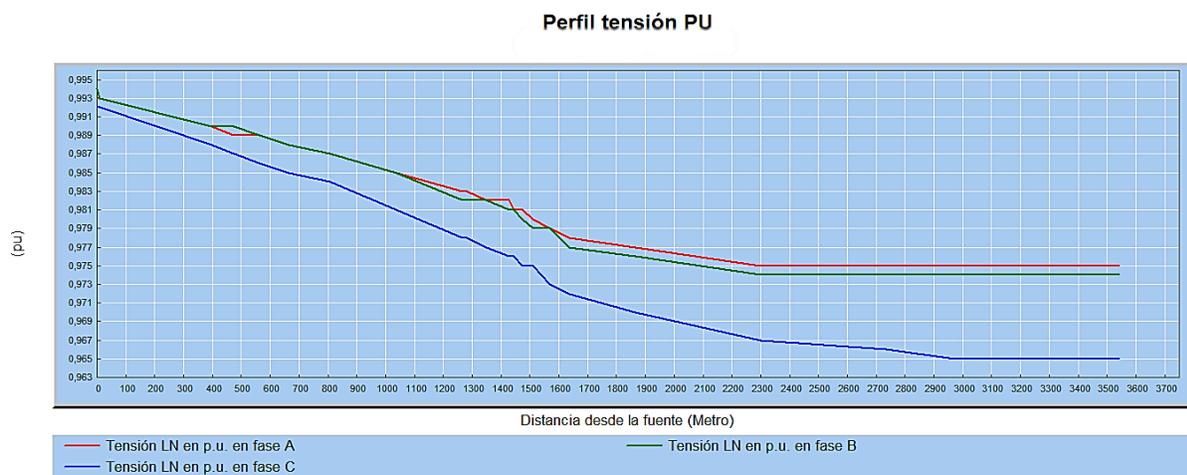
Como se ilustra en la anterior figura, para el año 2020 no existe una caída de tensión considerable en el extremo del alimentador reconfigurado, lo que ratifica la selección del conductor de medio voltaje para el diseño de la red subterránea.



**Figura 26.** Diagrama unifilar de medio voltaje 2030.

Fuente: (Cymdist - EATON CORPORATION)

Como se observa en la Figura 23, existe un mayor porcentaje de caída de tensión en la fase C, esto debido a que un tramo de medio voltaje que se encuentra en la parte sur del alimentador es monofásico y de una carga representativa. Para solventar este problema de regulación de voltaje la ELEPCO S.A. debe realizar un incremento de fases con la finalidad de balancear la cargabilidad del alimentador.



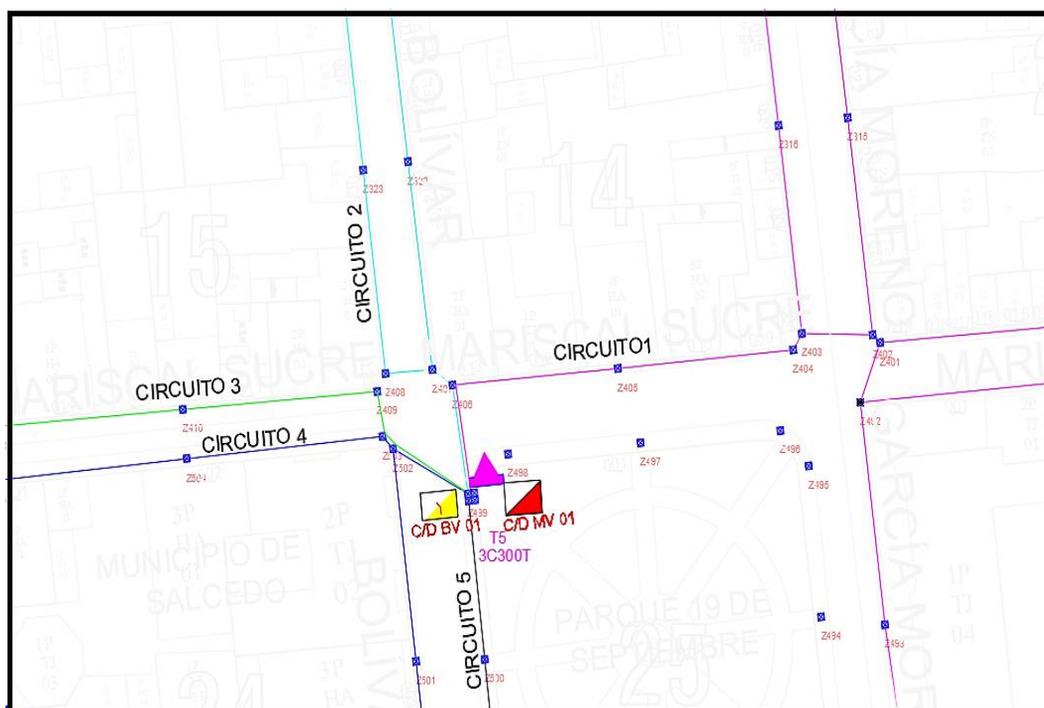
**Figura 27.** Perfil de voltaje año 2050.

Fuente: (Cymdist - EATON CORPORATION)

## 5.12. Redes de bajo voltaje proyectadas

Debido a la dificultad de ubicar los centros de transformación lo más cercano a los centros de carga, se ha diseñado los circuitos secundarios independientes, de tal modo que abarquen manzanas separadas y de esta manera reducir las caídas de voltaje, así como las pérdidas de potencia y energía, para cumplir con estos objetivos se utiliza el conductor de cobre aislado con chaqueta tipo TTU aislado para 2000 voltios, calibre 300 MCM, 3/0 y 1/0.

En la Figura 25, se presenta una sección del recorrido del transformador T5, ubicado en el parque central.



**Figura 28.** Circuitos de bajo voltaje

Con esta configuración se procede a realizar los respectivos análisis de caídas de voltaje y cálculos de pérdidas de energía en cada uno de los 13 centros de transformación definidos anteriormente.

Los resultados del cálculo de las caídas de voltaje proyectados, se presentan en la Tabla 29.

**Tabla 29.**

*Cómputo de caídas de voltaje y pérdidas de energía en circuitos secundarios.*

CÓDIGO DEL TRANSFORMADOR	POTENCIA	NÚMERO DE USUARIOS	MÁX CAIDA DE VOLTAJE	PERDIDAS DE ENERGÍA
1	3C150T	132	2.47	260.11
2	3C250T	224	3.1	454.78
3	3C400T	350	3.17	753.48
4	3C200T	157	2.52	359.19
5	3C300T	200	2.86	474.18

CONTINÚA



<b>6</b>	3C200T	97	2.55	241.77
<b>7</b>	3C200T	120	1.8	197.52
<b>8</b>	3C200T	88	1.79	146.83
<b>9</b>	3C200T	84	2.31	179.49
<b>10</b>	3C300T	208	2.3	408.57
<b>11</b>	3C200T	88	2.6	201.3
<b>12</b>	3C200T	157	2.06	270.69
<b>13</b>	3C200T	62	1.32	75.86
<b>TOTAL</b>		<b>1967</b>		<b>4,023.77</b>

Con el sistema planteado se atiende a los 1967 medidores existentes en la ciudad de Salcedo, cumpliendo con la normativa de calidad del servicio y reduciendo considerablemente las pérdidas de potencia y energía en los circuitos secundarios.

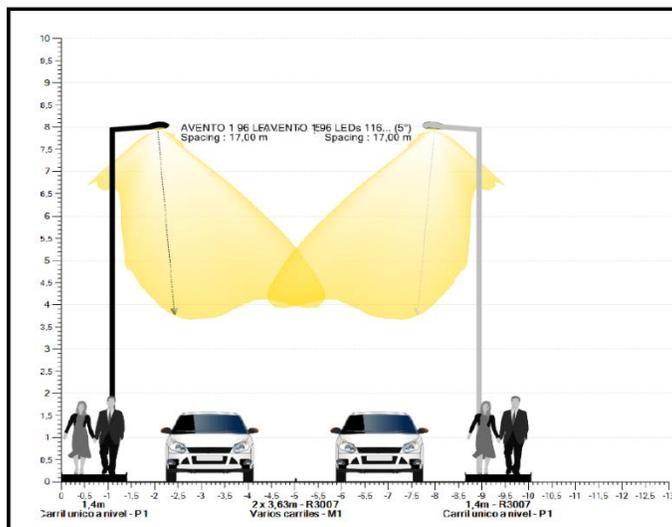
### **5.13. Alumbrado público**

Con el objetivo de reducir el consumo energético y mantenerse a la vanguardia en el uso de nuevas tecnologías, la ELEPCO SA. ha planteado el uso de luminarias con tecnología LED, pese a que el costo inicial es superior a una luminaria de vapor de Sodio de alta presión; pero, su implementación se justifica gracias a la reducción considerable de la potencia de consumo y con mejores rendimientos. Para la modelación se realiza las mismas consideraciones que se plantearon para la iluminación existente; que corresponde a la clasificación de vías de tipo M1.

El sistema de iluminación proyectado considera la configuración de distribución de tres bolillo con la finalidad de conseguir los niveles de Luminancia recomendados por la norma antes citada la cual recomienda 2 cd/m<sup>2</sup>, en postes de 8 m. e Inter distancia de 17 m, con un ángulo de inclinación del brazo y de la luminaria de 5° y una longitud de brazo de 0,80 m. (ver Anexo K).

La modelación en el software ULYSSE, se muestra en las Figuras 26 a la 29, para cada una de las vías típicas del área considerada.

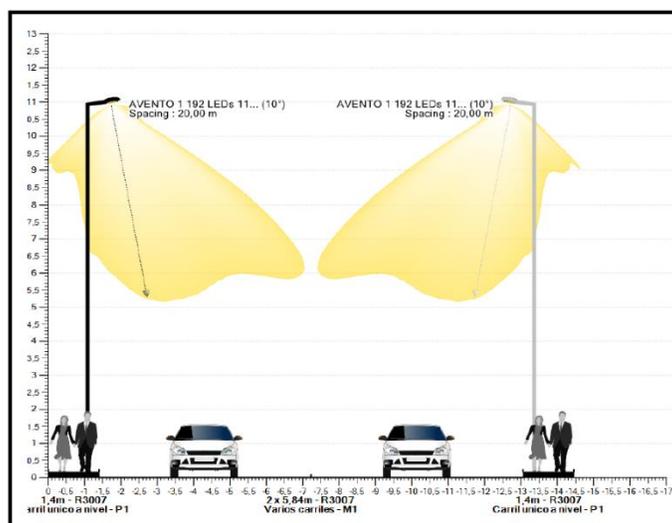
## CALLE TIPICA DE SALCEDO



**Figura 29.** Diseño de Iluminación calle típica de Salcedo.

Fuente: (ULYSSE)

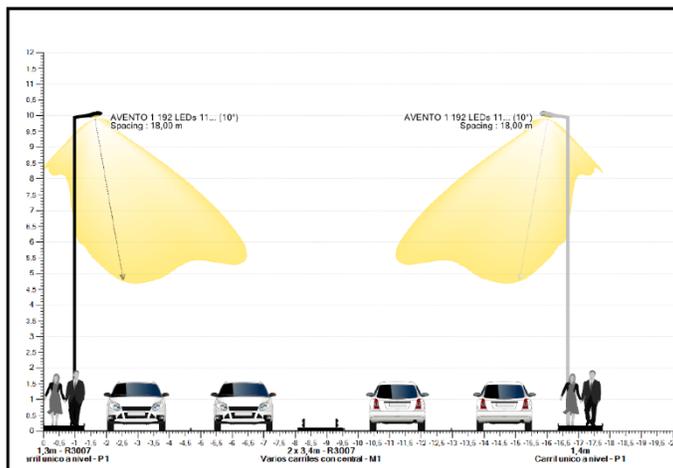
## GARCIA MORENO



**Figura 30.** Diseño de Iluminación calle García Moreno de Salcedo

Fuente: (ULYSSE)

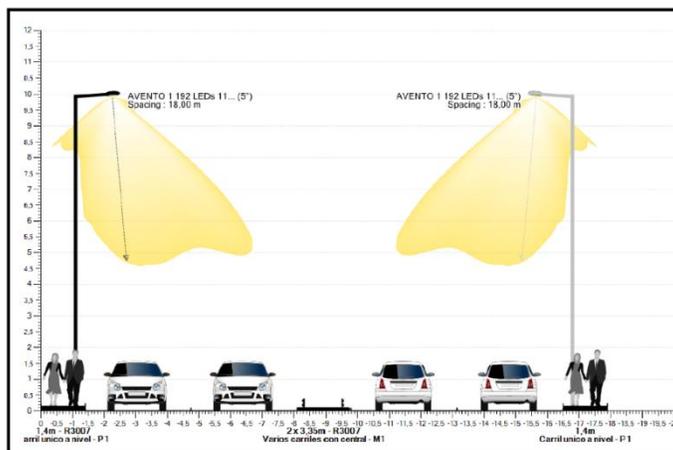
**JAIME MATA YEROVI**



**Figura 31.** Diseño de Iluminación calle Jaime Mata Yerovi de Salcedo

Fuente: (ULYSSE)

**AV OLMEDO**



**Figura 32.** Diseño de Iluminación calle Olmedo de Salcedo

Fuente: (ULYSSE)

Con las consideraciones antes expuestas se modelo empleándose luminarias tipo LED, y los resultados de cálculo de presentan en la Tabla 30.

**Tabla 30.**

*Resultado de la modelación software ULYSSE iluminación proyectada.*

<b>CALLES Y AVENIDAS DE SALCEDO</b>				
	<b>GENERAL</b>	<b>AV. GARCÍA MORENO</b>	<b>AV. JAIME MATA</b>	<b>AV. OLMEDO</b>
<b>CLASE DE ALUMBRADO TIPO DE VIA</b>	M1	M1	M1	M1
<b>LUMINANCIA cd/m2) recomendado</b>	2	2	2	2
<b>LUMINARIA LED SELECCIONADA</b>	AVENTO 1 - 96 LEDs 71 W	AVENTO 1 - 192 LEDs 142 W	AVENTO 1 - 192 LEDs 142 W	AVENTO 1 - 192 LEDs 142 W
<b>ALTURA DE MONTAJE (m)</b>	8	11	10	10
<b>INTERDISTANCIA (m)</b>	17	20	18	18
<b>ANGULO DE INCLINACION (º)</b>	5	10	10	5
<b>LONGITUD DEL BRAZO (m)</b>	0.5	0.5	0.5	1.0
<b>POTENCIA ESTIMADA (W)</b>	71	142	142	142
<b>LUMINANCIA (Cd/m2) OBTENIDO (observador 1)</b>	2.13	2.28	2.21	2.29
<b>LUMINANCIA (Cd/m2) OBTENIDO (observador 2)</b>	2.13	2.28	2.28	2.37
<b>Uo Mínimo (observador 1)</b>	62	61	63	61
<b>Uo Mínimo (observador 2)</b>	64	65	58	57
<b>UL Mínimo (observador 1)</b>	75	81	76	76
<b>UL Mínimo (observador 2)</b>	75	81	78	74
<b>TI %</b>	5.9	4.9	5.2	5.00
<b>SR Mínimo</b>	0.5	0.5	0.5	0.5
<b>OBSERVACIÓN</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>

Fuente: (ULYSSE)

#### 5.14. Diseño de la obra civil

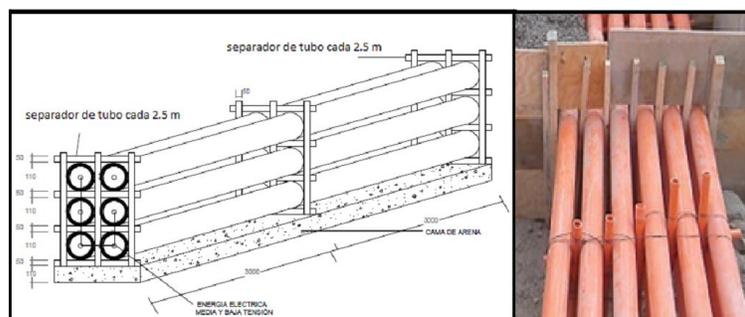
A continuación, se detalla las características principales del diseño de la obra civil, la cual debe cumplir con las normas establecidas por los organismos de control; además, debe seguir el mismo recorrido de la red de medio voltaje, verificando la disponibilidad física en sitio para su posterior ejecución.

#### 5.15. Banco de Ductos

El proyecto contempla la implementación de un banco de 12 ductos a lo largo de las calles y avenidas de la ciudad a los dos costados de las mismas, esta actividad comprende la excavación y relleno combinando, material del lugar y material de aporte; el suministro e instalación de la tubería PVC de 110 mm de diámetro debe ser corrugada externamente y lisa internamente.

Para conservar una distancia uniforme entre ductos se deberán utilizar separadores con láminas de PVC, o separadores contruidos con tubería de PVC de diámetro 2" los mismos que serán amarrados y conformarán una rejilla a medida que se colocan las diferentes capas de tubería, como se muestra en la Figura 30: Colocación de ductos

La misma Figura presenta la separación mínima horizontal y vertical entre ductos de un mismo banco será de 5 cm, independiente del diámetro de tubería y del nivel de voltaje empleado, la distancia longitudinal entre cada separador será de 2.5 a 3 m



**Figura 33.** Colocación de ductos.

Fuente:(Unidades de Propiedad - MERNNR, 2015b)

Cuando el banco de ductos este instalado por lugares no transitados por vehículos (bajo las aceras), el material de relleno será de hormigón de 140 Kg/cm<sup>2</sup> para obtener una mayor resistencia mecánica; el fondo de la zanja tendrá un terminado uniforme sobre el cual se colocará una cama de arena o ripio de 5 cm dependiendo del material de relleno del banco de ductos que puede ser arena u hormigón respectivamente, consiguiendo un piso regular y uniforme, de tal manera que, al colocar la primera fila de los ductos, esta se apoye en toda su longitud.

Cuando el material de relleno del banco de ducto es arena, una vez colocado la primera fila de ductos se colocará el separador de tubería seguido de una capa de arena de 5 cm y así sucesivamente hasta completar el número de ductos requeridos. La última capa de arena será de 10 cm de altura sobre el último ducto.

#### **5.16. Diseño de Pozos**

La construcción de estos equipos, se realiza cuando existan cambios de dirección, transición de red aérea a subterránea, así como a lo largo de los tramos rectos de la ruta del circuito, la distancia entre pozos está recomendada entre 30 y 60 metros.

Los pozos deben mantener un espacio de trabajo limpio (cables y accesorios sujetos a la pared), suficiente para desempeñar las labores de mantenimiento; los mismos serán construidos con paredes de hormigón armado de 210 Kg/cm<sup>2</sup> tanto para acera como en calzada, y el espesor de la pared será de 12 cm y 15 cm, respectivamente.

### 5.17. Dimensiones

**Tabla 31.**

*Resumen del tipo de pozo según el tipo de voltaje y servicio.*

TIPOS	LARGO (M)	ANCHO (M)	PROFUNDIDAD (M)	APLICACIÓN
<b>Tipo A</b>	0.60	0.60	0.75	AP- ACOMETIDA
<b>Tipo B</b>	0.90	0.90	0.90	MV-BV-AP
<b>Tipo C</b>	1.20	1.20	1.20	MV-BV-AP
<b>Tipo D</b>	1.60	1.20	1.50	MV-BV-AP
<b>Tipo E</b>	2.50	2.00	2.00	MV-BV-AP

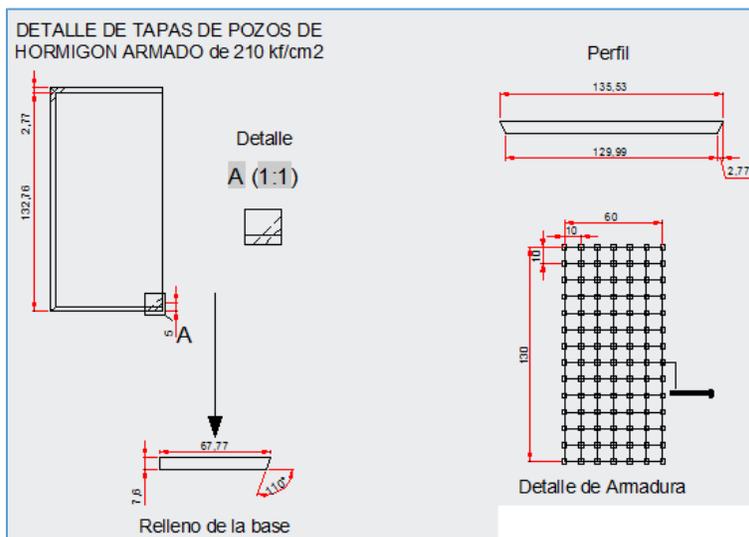
- Las profundidades indicadas en la tabla son mínimas y podrá aumentar dependiendo de cantidad de ductos a instalarse.
- Los pozos tipo C serán utilizados para derivaciones en bajo voltaje
- Los pozos tipo C y D se construirán con 2 tapas que cubran el área del mismo.
- En el pozo tipo E se podrán colocar módulos premoldeados para derivación y seccionamiento. Este tipo de pozo ira con una tapa de hierro esferoidal.
- Los pozos tipo D y E se construirán normalmente en las esquinas.

Fuente: (Unidades de Propiedad - MERNNR, 2015c)

Dependiendo del tipo, los pozos se construyen según las dimensiones interiores establecidas en la homologación del MERNNR, sección unidades de propiedad; además, de ello dependiendo de las dimensiones se establece la característica de operación y la fabricación de las tapas, este detalle en la Tabla 31.

### 5.18. Tapas de hormigón y perfil de hierro

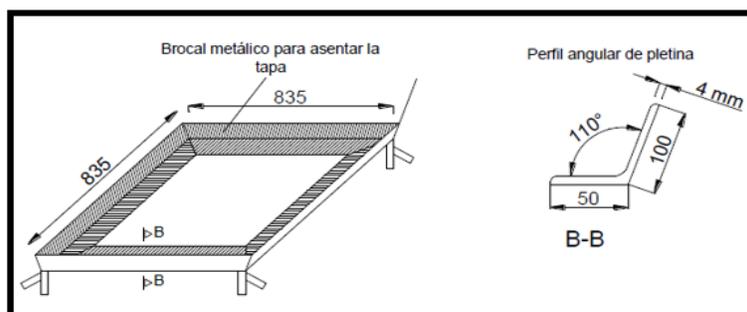
Las tapas de Hormigón armado, estas deberán ser construidas con un marco y brocal metálico; el espesor de la losa de la tapa será de 70 mm, este tipo de tapa es únicamente para acera.

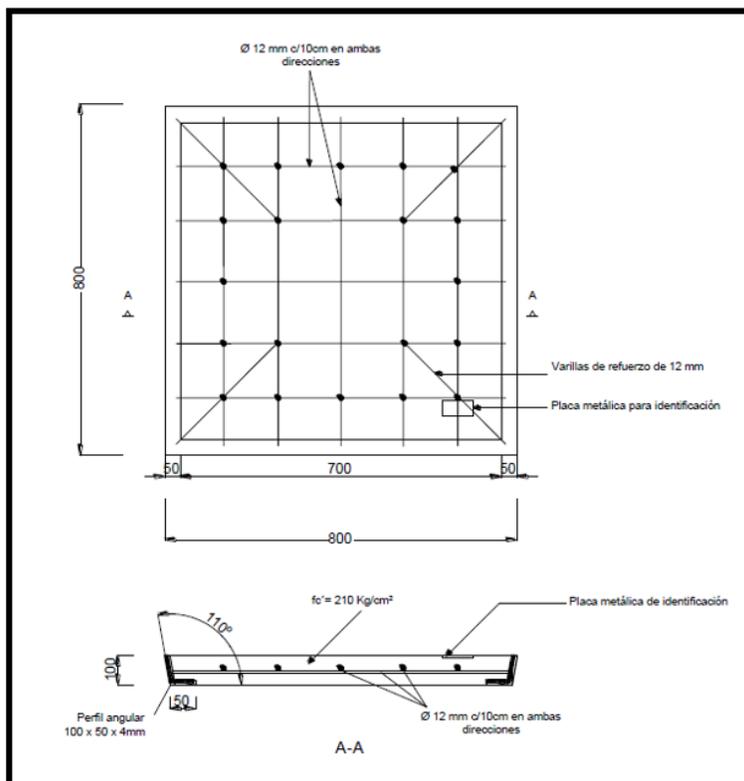


**Figura 34.** Construcción de tapas para acera de 1 y 2 cuerpos

Fuente: (Unidades de Propiedad - MERNNR, 2015c)

Las características técnicas civiles de las tapas de los pozos serán de hormigón armado 210kg/cm<sup>2</sup>, con varilla de 10 mm tejida cada 10cm y perfil de hierro 4mm doblado de 50mm en la base, 100 mm de alto e inclinación aproximada de 110°, tanto para el brocal como para el marco de la tapa. El espesor de la tapa será de 8cm, conforme a la Figura 32.





**Figura 35.** Estructura de las tapas para acera de 1 y 2 cuerpos.

Fuente: (Unidades de Propiedad - MERNNR, 2015c)

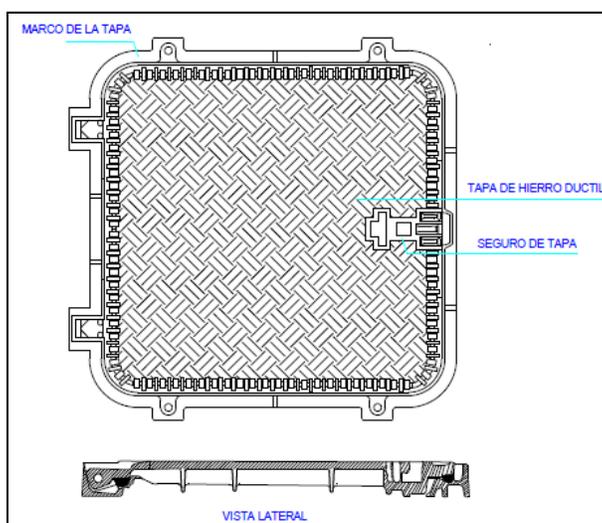
Lo descrito anteriormente, es aplicado para tapas que no poseen tráfico vehicular, es decir su construcción está diseñado para soportar el peso y pasó de peatones, por lo cual se debe cumplir con las normas de construcción establecidas para brindar seguridad tanto al peatón como a los equipos instalados en los pozos.

### 5.19. Tapas de grafito esferoidal

Los pozos ubicados en calzada que están sometidos a mayor presión debido a la afluencia de vehículos obligatoria y necesariamente deberán tener una tapa de grafito esferoidal (acero dúctil) clase D400-400 kN de dimensiones 60cm x 60 cm para los pozos tipo A, y de 120 cm x 120 cm para los pozos C y E. pudiendo ser de una o dos tapas

articuladas de acuerdo a la dimensión del pozo, estas deberán cumplir con las especificaciones técnicas indicadas en las normas establecidas por el MERNNR, sección unidades de propiedad, pozos para redes subterráneas; Estas tapas dispondrán de un seguro de cierre de  $\frac{1}{4}$  de vuelta con su llave respectiva.

Las tapas están compuestas por una fundición dúctil original, las cuales están soportadas en un marco de acero galvanizado, que provee el soporte y bisagras para las tapas. El diseño de la tapa provee un soporte antideslizante para los vehículos y peatones; el detalle de la tapa se aprecia en la Figura 33.



**Figura 36.** Tapas de grafito esferoidal

Fuente: (Unidades de Propiedad - MERNNR, 2015c)

## 5.20. Consideraciones de construcción

En las calles y veredas en donde se construyen los pozos y ductos, generalmente existen instalaciones de agua potable, alcantarillado, teléfonos, energía eléctrica, etc., por lo cual, durante la construcción se deberá consultar y coordinar con las entidades responsables de estos servicios para contar con los planos e información

correspondientes de las instalaciones existentes, para conservar el bienestar de los mismos.

La distancia entre la parte inferior de los ductos más profundos y la base del pozo debe ser mínimo de 20 cm.; además, el banco de ductos debe estar centrado con respecto a las paredes laterales del pozo.

El banco de ductos no podrá rebasar el nivel de pared terminada del pozo, quedaran a 5 cm antes de salir a la superficie interior del pozo para dar una curvatura con radio de 3 cm (chaflán) para que ingresen los cables al ducto sin daño a la chaqueta.

#### **5.21. Identificación**

Para la identificación de las tapas de los pozos se lo realizará en bajo relieve o se colocará una placa de hierro fundido; la primera de ellas es la más recomendable con logos de la empresa y respectivo número de identificación que provea la entidad distribuidora de ese sitio.

#### **5.22. Pisos de los pozos**

Dependiendo del nivel freático de la zona donde se esté construyendo el sistema subterráneo, el piso de los pozos podrá ser:

##### **Piso con hormigón y drenaje**

El piso de los pozos se fundirá completamente con una capa de hormigón de 10 cm mínimo y se ubicará un drenaje, el cual es opcional a juicio de la empresa, dependiendo del nivel freático de la zona donde se esté instalando el sistema subterráneo. Este drenaje constará de un sifón el cual estará conectado al sistema de alcantarillado público mediante una tubería de PVC de 50 mm de diámetro mínimo, preferiblemente pluvial. En la losa de piso se dará la inclinación del 1,5 % hacia el drenaje.

##### **Piso sin hormigón y material filtrante**

El piso del pozo estará constituido por una capa de material filtrante de 10 cm mínimo (grava) que ocupará toda su área.

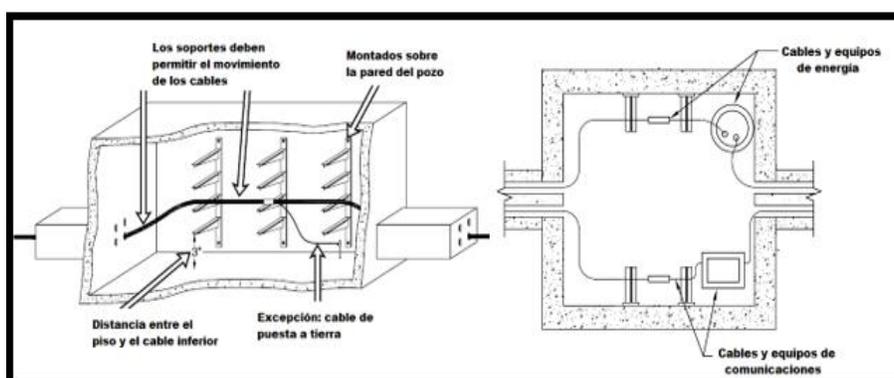
### Piso con hormigón y material filtrante

El piso de los pozos estará constituido por una loseta de hormigón de 10 cm mínimo con una inclinación del 1,5 % para evacuar el agua hacia una franja sin fundir rellena de material filtrante (grava), esta cubrirá al menos el 10 % del área total del piso del pozo.

### 5.23. Soportes

Los cables dentro de los pozos deben quedar fácilmente accesibles y soportados de forma que no sufran daño debido a su propia masa, curvaturas o movimientos durante su operación, para ello los pozos dispondrán de soportes de acero galvanizado o fibra de vidrio para sujetar y ordenar los conductores que se encuentren dentro de este; los soportes de los cables aparte de estar diseñados para resistir la masa, deben mantenerlos separados en claros específicos y ser adecuados al medio ambiente.

Los cables deben quedar soportados cuando menos 10 cm arriba del piso para estar adecuadamente protegidos.



**Figura 37.** Adaptación del artículo NESC 341-B1 341-B2

Fuente: (Unidades de Propiedad - MERNNR, 2015c)

La ubicación de los soportes debe permitir el movimiento del cable sin que exista concentración de esfuerzos destructivos, todos estos detalles se plasman en la Figura 34.

#### **5.24. Base de hormigón para instalación de equipos**

Para el montaje de los transformadores tipo padmounted, las cajas de distribución en medio voltaje, así como los armarios de distribución en bajo voltaje deberán ser instalados sobre una base de hormigón.

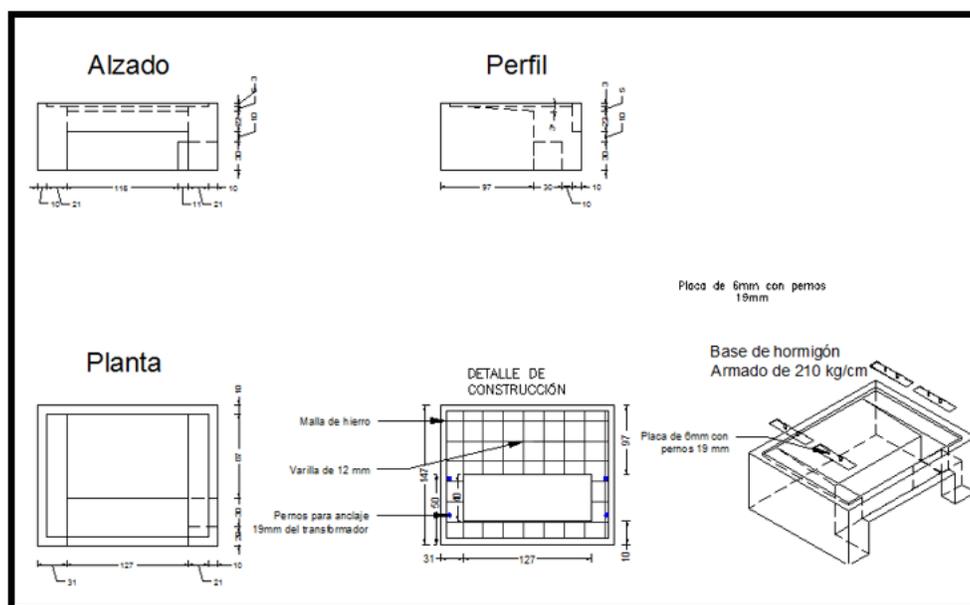
Todo equipo tipo pedestal deberá contar con una base de hormigón armado, con una resistencia mínima de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , cuyas dimensiones dependerán del equipo a instalar.

Las dimensiones de la base para instalar un transformador, serán de acuerdo a las dimensiones del mismo o dependiendo del equipo a ser instalado. Para el uso de transformadores tipo pedestal, la altura de la base sobre el nivel de piso terminado, no debe ser menor a 10 cm; además debe construirse dos barreras de protección, la primera mecánica y la segunda para derrame de aceites, esto debe ser constituido alrededor del equipo instalado la cual puede estar constituido de bolardos metálicos con amorterado de acero de 8 pulgadas de diámetro mínimo y una altura mínima sobre el nivel del piso de 50 cm y enterrado 20 cm con sistema de cimentación, este bolardo debe ir pintado con franjas amarillas y negras; y la segunda protección es para derrame de aceites, debe ser provisto por un canal de 10 cm. alrededor del equipo de transformación, relleno con ripio de 2 cm.

Donde se instale un equipo (transformadores, interruptores, etc.), se deberá construir un pozo junto a la base, de medidas tales que debe permitir tener reserva para operar y manipular los cables, colocar barrajes desconectables, barrajes de puesta a tierra y cualquier otro elemento.

La Figura 35 muestra una base de hormigón para el montaje de un transformador trifásico tipo pedestal y/o una caja de distribución de medio voltaje.

La Figura 36 muestra el montaje de un transformador trifásico tipo padmounted, con todos los detalles antes mencionados.



**Figura 38.** Construcción de la base de hormigón para instalación de equipos

Fuente: (Unidades de Propiedad - MERNNR, 2015c)



**Figura 39.** Construcción de la base de hormigón para instalación de equipos

Fuente: (Unidades de Propiedad - MERNNR, 2015c)

Con las condiciones indicadas anteriormente se procede con el trazado del recorrido de los ductos que servirán para las redes de medio voltaje, bajo voltaje y alumbrado público, además, es necesario considerar que en todo el recorrido debe existir un triducto, el cual servirá para el sistema de comunicaciones y/o televisión pagada; una parte del recorrido se muestra en la Figura 37.



**Figura 40.** Obra civil de pozos y ductos.

## 5.25. Análisis técnico-económico

En esta parte se presenta el costo referencial del proyecto, se analiza la factibilidad de construcción de este proyecto realizando un análisis técnico económico, se analizan las ventajas y beneficios sociales técnicos y urbanísticos que tiene este al realizar este proyecto.

### Análisis de costos y presupuesto

En esta parte el objetivo fundamental es determinar las unidades de construcción de la implementación de las instalaciones eléctricas en medio voltaje, bajo voltaje y

alumbrado público, así como en obra civil necesaria para poder implementar este proyecto.

Los costos de los materiales, el costo de mano obra local, costos indirectos, costos de los equipos de importación suministrados por el distribuidor, fueron considerados en base a los precios que maneja ELEPCO S.A.

Con lo antes mencionado se procedió a realizar una lista completa de todos los materiales que van a ser utilizados en este proyecto tanto en obra eléctrica como obra civil, así también con su respectiva unidad, cantidad, precio unitario y precio total, con ello se procede a sacar el costo total de materiales a ser utilizados como se muestra en el anexo G.

Para sacar el costo de la mano de obra total se tomó en cuenta mano de obra eléctrica, civil y el desmontaje de la red actual en el sector a ser intervenido para todo esto se consideró la mano de obra local más costos indirectos como se muestra en el siguiente anexo G.

Se procedió a sacar el costo total del proyecto considerando los siguientes aspectos: costo de materiales, costo de la mano de obra, costos indirectos, fiscalización, gastos administrativos y con el IVA del 12% como se indica en la tabla 32.

**Tabla 32.**

*Detalle del costo total del proyecto.*

<b>MATERIALES</b>	<b>\$ 5,084,976.86</b>
MANO DE OBRA	\$ 829,362.91
COSTOS INDIRECTOS	\$ 334,317.38
FISCALIZACIÓN	\$ 232736,06
GASTOS ADMINISTRATIVOS	\$ 23,273.61
SUB	\$ 6,504,666.82
IVA 12%	\$ 780,560.02
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 7,285,226.84</b>

## **Análisis económico**

Una vez definido el presupuesto del proyecto detallado anteriormente en la tabla 32 se procedió a realizar una evaluación del mismo con el objetivo de determinar si el proyecto para la ELEPCO S.A., es rentable o no.

Para desarrollar este análisis primero se determinó una proyección de ingresos esto quiere decir que se sacó valores por el precio de venta de energía que se obtendrán en el sector intervenido en los próximos 30 años, así como se determinó las ganancias que se obtendrán en ahorro de pérdidas.

### **Ingresos por venta de energía**

Se realizó esta parte tomando en cuenta los valores de demanda de energía proyectada que se obtuvieron anteriormente estos multiplicados por un factor de carga que maneja la ELEPCOS.A., esto quiere decir que se obtuvo un consumo de energía anual promedio en el sector hacer intervenido para los próximos 30 años.

Además, junto con el departamento de planificación de la ELEPCO S.A. se determinaron precios para dicho análisis económico como es el precio promedio de energía facturada y el precio que le cuesta a la ELEPCO S.A. dicha energía, cabe recalcar que estos son valores estimados los que se llegaron a determinar para este análisis.

Con los valores promedios de energía proyectada, con el precio promedio de energía facturada se procedió a sacar los valores de venta estimados que obtendrá la ELEPCOS.A., en el sector hacer intervenido en este proyecto para los siguientes próximos 30 años como se indica en la tabla 33.

**Tabla 33.**  
*Ingresos por venta de energía anuales en 30 años.*

<b>AÑO</b>	<b>VENTAS ANUALES</b>
<b>AÑO 1</b>	\$ 1,349,931.11
<b>AÑO 2</b>	\$ 1,380,688.95
<b>AÑO 3</b>	\$ 1,410,383.57
<b>AÑO 4</b>	\$ 1,439,018.52
<b>AÑO 5</b>	\$ 1,466,662.00
<b>AÑO 6</b>	\$ 1,493,409.80
<b>AÑO 7</b>	\$ 1,519,359.82
<b>AÑO 8</b>	\$ 1,544,599.72
<b>AÑO 9</b>	\$ 1,569,203.33
<b>AÑO 10</b>	\$ 1,593,231.05
<b>AÑO 11</b>	\$ 1,616,731.98
<b>AÑO 12</b>	\$ 1,639,746.04
<b>AÑO 13</b>	\$ 1,662,305.98
<b>AÑO 14</b>	\$ 1,684,438.96
<b>AÑO 15</b>	\$ 1,706,167.77
<b>AÑO 16</b>	\$ 1,727,511.76
<b>AÑO 17</b>	\$ 1,748,487.57
<b>AÑO 18</b>	\$ 1,769,109.66
<b>AÑO 19</b>	\$ 1,789,390.74
<b>AÑO 20</b>	\$ 1,809,342.07
<b>AÑO 21</b>	\$ 1,828,973.72
<b>AÑO 22</b>	\$ 1,848,294.77
<b>AÑO 23</b>	\$ 1,867,313.48
<b>AÑO 24</b>	\$ 1,886,037.37
<b>AÑO 25</b>	\$ 1,904,473.35
<b>AÑO 26</b>	\$ 1,922,627.83
<b>AÑO 27</b>	\$ 1,940,506.72
<b>AÑO 28</b>	\$ 1,958,115.54
<b>AÑO 29</b>	\$ 1,975,459.46
<b>AÑO 30</b>	\$ 1,992,543.32

### Valores por ahorro en pérdidas en el sistema actual

En esta parte se consideró todas las pérdidas que se obtuvieron en los anteriores análisis esto quiere decir que se tomaron en cuenta perdidas en medio voltaje donde está considerado perdidas en las líneas, perdidas de carga del transformador, perdidas en vacío del transformador así como también las perdidas en bajo voltaje, con todos estos datos se procedió a realizar los cálculos de ahorro de energía que tendrá la ELEPCOS.A., en los próximos 30 años en los que se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 34.**

*Valores por ahorro en pérdidas en el sistema actual en 30 años.*

AÑO	VALOR DE AHORRO
AÑO 1	\$ 18,024.6768
AÑO 2	\$ 18,178.5768
AÑO 3	\$ 18,332.4768
AÑO 4	\$ 18,486.3768
AÑO 5	\$ 18,640.2768
AÑO 6	\$ 18,794.1768
AÑO 7	\$ 18,925.6368
AÑO 8	\$ 19,057.0968
AÑO 9	\$ 19,188.5568
AÑO 10	\$ 19,320.0168
AÑO 11	\$ 19,451.5008
AÑO 12	\$ 19,463.0008
AÑO 13	\$ 19,574.5008
AÑO 14	\$ 19,686.0008
AÑO 15	\$ 19,797.5008
AÑO 16	\$ 20,008.9608
AÑO 17	\$ 20,120.9608
AÑO 18	\$ 20,232.9608
AÑO 19	\$ 20,344.9608
AÑO 20	\$ 20,456.9608
AÑO 21	\$ 20,605.6608
AÑO 22	\$ 20,754.3608
AÑO 23	\$ 20,903.0608

**CONTINÚA** 

<b>AÑO 24</b>	\$	21,051.7608
<b>AÑO 25</b>	\$	21,200.4608
<b>AÑO 26</b>	\$	21,241.0908
<b>AÑO 27</b>	\$	21,281.7208
<b>AÑO 28</b>	\$	21,322.3508
<b>AÑO 29</b>	\$	21,362.9808
<b>AÑO 30</b>	\$	21,400.2168

### Costos de energía (Egresos)

Para poder determinar el análisis de este proyecto también se necesitó la proyección de costos que tiene la ELEPCOS.A., es decir de cuanto le cuesta a la empresa cada KWH entregar en cada sector, junto con el departamento de PLANIFICACION Y el departamento de INGENIERIA Y CONSTRUCCION, se determinó un valor estimando por cada KWH suministrado, cabe recalcar que en este valor se está tomando en cuenta el costo de energía, mano de obra, servicio de distribución, mantenimiento, entre otros aspectos.

Con este valor estimado que se determinó con los departamentos antes mencionados de la ELEPCOS.A., se procedió a calcular los costos para 30 años como se representa en la siguiente.

**Tabla 35.**  
*Costos de energía (Egresos) en 30 años.*

<b>AÑO</b>	<b>COSTOS ANUALES</b>	
<b>AÑO 1</b>	\$	583,170.24
<b>AÑO 2</b>	\$	596,457.63
<b>AÑO 3</b>	\$	609,285.70
<b>AÑO 4</b>	\$	621,656.00
<b>AÑO 5</b>	\$	633,597.99
<b>AÑO 6</b>	\$	645,153.04
<b>AÑO 7</b>	\$	656,363.44
<b>AÑO 8</b>	\$	667,267.08
<b>AÑO 9</b>	\$	677,895.84
<b>AÑO 10</b>	\$	688,275.82

**CONTINÚA**



<b>AÑO 11</b>	\$	698,428.21
<b>AÑO 12</b>	\$	708,370.29
<b>AÑO 13</b>	\$	718,116.18
<b>AÑO 14</b>	\$	727,677.63
<b>AÑO 15</b>	\$	737,064.48
<b>AÑO 16</b>	\$	746,285.08
<b>AÑO 17</b>	\$	755,346.63
<b>AÑO 18</b>	\$	764,255.37
<b>AÑO 19</b>	\$	773,016.80
<b>AÑO 20</b>	\$	781,635.77
<b>AÑO 21</b>	\$	790,116.65
<b>AÑO 22</b>	\$	798,463.34
<b>AÑO 23</b>	\$	806,679.42
<b>AÑO 24</b>	\$	814,768.14
<b>AÑO 25</b>	\$	822,732.49
<b>AÑO 26</b>	\$	830,575.22
<b>AÑO 27</b>	\$	838,298.90
<b>AÑO 28</b>	\$	845,905.91
<b>AÑO 29</b>	\$	853,398.49
<b>AÑO 30</b>	\$	860,778.71

### **Valoración del proyecto**

Esta es la parte donde se evalúa al proyecto para determinar su rentabilidad, se realizó dicha evaluación con los datos obtenidos anteriormente estos son los ingresos donde se encuentran los valores por venta de energía y por ahorros en perdidas, los egresos y la inversión total del proyecto.

Para realizar dicha evaluación se tomó en consideración los valores antes mencionados y con una caja de flujo llevados a valor presente con una tasa de descuento del 12% que es la tasa de interés que se paga en el país.

Los resultados de la evaluación del proyecto tomando en cuenta todas las consideraciones mencionadas se indican a continuación:

**Tabla 36.**  
*Valoración del proyecto en 30 años.*

DETALLE	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
<b>INGRESOS</b>						
VENTA DE ENERGIA		1,349,931.11	1,380,688.95	1,410,383.57	1,439,018.52	1,466,662.00
AHORRO EN PERDIDAS		18,024.68	18,178.58	18,332.48	18,486.38	18,640.28
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>	0.00	1,367,955.79	1,398,867.53	1,428,716.05	1,457,504.90	1,485,302.28
<b>EGRESOS</b>						
COSTO Y GASTOS DE VENTA DE ENERGIA		583,170.24	596,457.63	609,285.70	621,656.00	633,597.99
INVERSION DEL PROYECTO	7,285,226.84					
<b>TOTAL DE EGRESOS</b>	7,285,226.84	583,170.24	596,457.63	609,285.70	621,656.00	633,597.99
<b>FLUJO DE CAJA</b>	-7,285,226.84	784,785.55	802,409.90	819,430.34	835,848.90	851,704.29

DETALLE	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
<b>INGRESOS</b>					
VENTA DE ENERGIA	1,493,409.80	1,519,359.82	1,544,599.72	1,569,203.33	1,593,231.05
AHORRO EN PERDIDAS	18,794.18	18,925.64	19,057.10	19,188.56	19,320.02
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>	1,512,203.98	1,538,285.46	1,563,656.82	1,588,391.89	1,612,551.07
<b>EGRESOS</b>					
COSTO Y GASTOS DE VENTA DE ENERGIA	645,153.04	656,363.44	667,267.08	677,895.84	688,275.82
INVERSION DEL PROYECTO					
<b>TOTAL DE EGRESOS</b>	645,153.04	656,363.44	667,267.08	677,895.84	688,275.82
<b>FLUJO DE CAJA</b>	867,050.94	881,922.02	896,389.74	910,496.05	924,275.25

CONTINÚA



DETALLE	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
<b>INGRESOS</b>					
VENTA DE ENERGIA	1,616,731.98	1,639,746.04	1,662,305.98	1,684,438.96	1,706,167.77
AHORRO EN PERDIDAS	19,451.50	19,463.00	19,574.50	19,686.00	19,797.50
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>	<b>1,636,183.48</b>	<b>1,659,209.04</b>	<b>1,681,880.48</b>	<b>1,704,124.96</b>	<b>1,725,965.27</b>
<b>EGRESOS</b>					
COSTO Y GASTOS DE VENTA DE ENERGIA	698,428.21	708,370.29	718,116.18	727,677.63	737,064.48
<b>INVERSION DEL PROYECTO</b>					
<b>TOTAL DE EGRESOS</b>	<b>698,428.21</b>	<b>708,370.29</b>	<b>718,116.18</b>	<b>727,677.63</b>	<b>737,064.48</b>
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>937,755.27</b>	<b>950,838.75</b>	<b>963,764.30</b>	<b>976,447.33</b>	<b>988,900.79</b>

DETALLE	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
<b>INGRESOS</b>					
VENTA DE ENERGIA	1,727,511.76	1,748,487.57	1,769,109.66	1,789,390.74	1,809,342.07
AHORRO EN PERDIDAS	20,008.96	20,120.96	20,232.96	20,344.96	20,456.96
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>	<b>1,747,520.72</b>	<b>1,768,608.53</b>	<b>1,789,342.62</b>	<b>1,809,735.70</b>	<b>1,829,799.03</b>
<b>EGRESOS</b>					
COSTO Y GASTOS DE VENTA DE ENERGIA	746,285.08	755,346.63	764,255.37	773,016.80	781,635.77
<b>INVERSION DEL PROYECTO</b>					
<b>TOTAL DE EGRESOS</b>	<b>746,285.08</b>	<b>755,346.63</b>	<b>764,255.37</b>	<b>773,016.80</b>	<b>781,635.77</b>
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>1,001,235.64</b>	<b>1,013,261.90</b>	<b>1,025,087.25</b>	<b>1,036,718.90</b>	<b>1,048,163.26</b>

CONTINÚA



DETALLE	AÑO 21	AÑO 22	AÑO 23	AÑO 24	AÑO 25
<b>INGRESOS</b>					
<b>VENTA DE ENERGIA</b>	1,828,973.72	1,848,294.77	1,867,313.48	1,886,037.37	1,904,473.35
<b>AHORRO EN PERDIDAS</b>	20,605.66	20,754.36	20,903.06	21,051.76	21,200.46
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>	1,849,579.38	1,869,049.13	1,888,216.54	1,907,089.13	1,925,673.81
<b>EGRESOS</b>					
<b>COSTO Y GASTOS DE VENTA DE ENERGIA</b>	790,116.65	798,463.34	806,679.42	814,768.14	822,732.49
<b>INVERSION DEL PROYECTO</b>					
<b>TOTAL DE EGRESOS</b>	790,116.65	798,463.34	806,679.42	814,768.14	822,732.49
<b>FLUJO DE CAJA</b>	1,059,462.73	1,070,585.79	1,081,537.12	1,092,320.99	1,102,941.32

DETALLE	AÑO 26	AÑO 27	AÑO 28	AÑO 29	AÑO 30
<b>INGRESOS</b>					
<b>VENTA DE ENERGIA</b>	1,922,627.83	1,940,506.72	1,958,115.54	1,975,459.46	1,992,543.32
<b>AHORRO EN PERDIDAS</b>	21,241.09	21,281.72	21,322.35	21,362.98	21,400.22
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>	1,943,868.92	1,961,788.44	1,979,437.89	1,996,822.44	2,013,943.54
<b>EGRESOS</b>					
<b>COSTO Y GASTOS DE VENTA DE ENERGIA</b>	830,575.22	838,298.90	845,905.91	853,398.49	860,778.71
<b>INVERSION DEL PROYECTO</b>					
<b>TOTAL DE EGRESOS</b>	830,575.22	838,298.90	845,905.91	853,398.49	860,778.71
<b>FLUJO DE CAJA</b>	1,113,293.70	1,123,489.54	1,133,531.98	1,143,423.95	1,153,164.82

**Tabla 37.***Valoración del proyecto por VAN y B/C*

VALOR ACTUAL NETO	\$ - 89,697.30
RELACION BENEFICIO/COSTO	0.99

En la valoración del proyecto realizada vemos que el valor actual neto nos da un número negativo como nos indica en la tabla 37, esto nos quiere decir que el proyecto nos es viable ya que con este valor la ELEPCO S.A perdería al invertir en este proyecto, otro indicador clave es la relación beneficio costo que nos da menor que 1, con este valor nos dice que por cada dólar invertido la ELEPCOS.A., perdería un centavo, viéndolo desde el punto de vista financiero el proyecto no es rentable para la empresa porque ninguna empresa invierte para perder.

Por parte de ELEPCOS.A., este proyecto tiene que ser implementado dado a la Ley del Acuerdo Interministerial No.213 en su artículo 8, esto nos quiere decir que este proyecto para la ELEPCOS.A., no es de interés económico ya que estos proyectos tienen otro enfoque que es el de proyecto de beneficio social ya que con este proyecto la ELEPCOS.A., garantizara a los usuarios del sector hacer intervenido beneficios técnicos y sociales.

### **Análisis de beneficios técnicos y sociales**

Con este proyecto ELEPCO S.A puede ofrecer a los abonados un mejor servicio ya que con esto se disminuiría considerablemente el hurto el contrabando de energía y con eso habría un flujo normal de energía eléctrica para sus abonados, así también con este proyecto habría un mejor sistema de alumbrado público en el sector intervenido, también se minimizan los costos de reparación y mantenimiento, todo esto conlleva que habría una disminución del costo de distribución de la energía eléctrica en el sector y en consecuencia menores pérdidas para la empresa.

Este proyecto también brinda beneficios sociales en el sector estos son:

- Calidad de servicio
- Seguridad de instalaciones y transeúntes
- Mejoramiento en la estética del sector
- Disminución de la contaminación visual para las personas q transitan por el lugar.

### **Calidad de servicio**

La distribución eléctrica por medio de una red subterránea tiene una mayor confiabilidad de servicio que una aérea, esto se debe a que esta red está menos dispuesta a accidentes. Hurto de energía, robos de conductores, y otros eventos que pueden ocasionar la interrupción del servicio.

La topología elegida para el diseño y su implementación permite una flexibilidad entre sus puntos de alimentación, esto garantiza que dicha red siempre pueda suministrar energía o que el tiempo fuera de servicio se disminuya con lo que mejorara el indicador de calidad de servicio que es controlado por el ARCONEL 005/18.

### **Seguridad de instalaciones y transeúntes**

En la actualidad la inseguridad de las personas aumentado considerablemente debido a el irrespeto a las ordenanzas municipales que ha permitido que las edificaciones se acerquen a las redes aéreas de distribución eléctrica, la ELEPCO S.A., es responsable por la seguridad que brindan sus instalaciones a los clientes.

Una de las principales ventajas de la red subterránea, es la seguridad que brinda a sus clientes dado a que estos no tienen contacto con la red ni las instalaciones logrando precautelar la seguridad de sus clientes y la de sus instalaciones.

### Mejoramiento en la estética del sector

Sin duda esto es un beneficio notorio para las personas que residen en el sector y para todas las personas que transitan por el mismo, de la experiencia de otras instalaciones de red subterránea existen referencias de que la plusvalía de las viviendas que poseen dicha red aumentan esto debido a que las viviendas tendrán una nueva presentación, se mejorara notablemente presentación del sector las calles avenidas, disminuirá la contaminación visual para todos los transeúntes que transiten por el sector hacer intervenido.

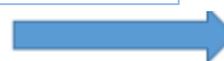
De esta forma considerando todos los beneficios antes mencionados como son principalmente los técnicos y sociales, se determina que la construcción de la red subterránea de distribución de energía eléctrica es viable y vital para el desarrollo del sector ya que produce cambios significativos y por ende una mejora en la vida de las personas que allí habitan.

**Tabla 38.**

*Principales elementos red eléctrica subterránea proyectada.*

ELEMENTO	CANTIDAD	
<b>Tendido de red MV</b>	XLPE CU. 15KV. CALIBRE 4/0 AWG.	25,250 m.
<b>Tendido de red BV</b>	300 MCM	32,993 m.
	3/0 AWG	300 m.
	1/0 AWG	100 m.
<b>Tendido de red AP</b>	4 AWG	7,498 m.
<b>Ductos</b>	Provisión e instalación de ductos de 4"	359,988 m.
	Provisión e instalación de ductos de 2"	35,998.80 m.
	Provisión e instalación de manguera de 2"	3,599.88 m.

CONTINÚA



	Provisión e instalación de manguera de 3/4"	1,370 m.
	Provisión e instalación de Triducto 1 1/2"	29,999 m.
<b>Transformador</b>	150 kVA, 3Ø	1 unidad.
	200 kVA, 3Ø	8 unidades.
	250 kVA, 3Ø	1 unidades.
	300 kVA, 3Ø	2 unidades.
	400 kVA, 3Ø	1 unidad.
<b>Luminarias Led</b>	147 W	161 unidades.
	71 W	1,040 unidades.

## CONCLUSIONES

- El presente trabajo ha sido realizado tomando en consideración los requerimientos y disposiciones técnicas, dadas en las regulaciones vigentes del sector eléctrico, las cuales fueron emitidas por el Ministerio de Energía y recursos Naturales No Renovables (MERNNR) y la Agencia de Regulación y Control de Energía (ARCONEL).
- La implementación de una red subterránea de distribución eléctrica, a pesar de sus costos económicos elevados con respecto a la red aérea; tienen ventajas adicionales en su operación tales como: mayor confiabilidad, mayor continuidad del servicio, seguridad al usuario y peatón, mejor imagen urbana, mayor vida útil de la red entre otras; con estas particularidades se establece que dado la importancia estética y cuidado del casco histórico de la ciudad de Salcedo es necesario implementar este tipo de tecnología que va acorde a las bondades que ofrece la red subterránea ante los requerimientos de la ciudad.
- Con el objeto de justificar técnicamente el cambio de redes aéreas a subterráneas, se realizó el levantamiento y simulación de la red actual utilizando el programa computacional CYMDIST; y con ello se determinó que las pérdidas de potencia debido a la sobrecarga en conductores #2 AWG y #4 AWG, aproximadamente constituidos por un 65% entre medio y bajo voltaje; serían en promedio de **63 kW**, así también al verificar las caídas de voltaje sin realizar ninguna repotenciación en la red y con la proyección de la demanda, para el año 2020, estaría por **debajo del 6%** permitido en la regulación 005/2018 emitida por la ARCONEL.
- Para la red de medio y bajo voltaje, se considera la operación con topología de tipo anillo, y se deja planificando los alimentadores primarios para que se pueda realizar la transferencia de carga cuando las condiciones lo ameriten.
- La red eléctrica planificada, fue simulada en el programa CYMDIST, para verificar su operación técnica, considerando varios escenarios a lo largo de su vida útil hasta el año 2050 determinándose lo siguiente: para la red de medio voltaje se usaría cable XLPE CU 15 KV. Calibre 4/0, para la red de bajo voltaje el cable que cumple con el

criterio técnico – económico es de 300 MCM; además, al inicio de la operación se requiere 13 transformadores distribuidos de forma estratégica y técnica.

- Con la implementación de la red subterránea, las pérdidas de potencia para el año 2050 serían de 128,85kW, lo que representa una reducción del 39% con las pérdidas para el mismo año con la red existente que serían de 210,06kW.
- Por lo expuesto, el proyecto presentado es viable tanto en el ámbito técnico, social y económico, esto al tomar en cuenta los múltiples beneficios obtenidos con su implementación, entre los cuales se encuentra el mejoramiento en la calidad del servicio eléctrico, disminución de pérdidas técnicas y no técnicas, ahorros en mantenimiento y reparación, mayor seguridad y confiabilidad, así como, mejoramiento en el aspecto visual de la ciudad.
- Considerando el continuo crecimiento de la demanda, y bajo el análisis de flujos de carga mediante el software CYMDIST, se determinó que los equipos que actualmente se encuentran instalados no soportarán la demanda de los próximos 30 años. Adicional a esto, las variaciones de voltaje se encuentran por debajo de los límites establecidos por la ARCONEL.
- En lo que se refiere al Sistema de Alumbrado Público General, no ha crecido planificadamente por lo que los niveles de iluminación son deficientes en unos sectores y sobre iluminados en otros, con la presencia de luminarias de varias potencias en un mismo tramo de vía.
- Al existir espacios reducidos en la ciudad que no permiten la colocación de pozos en la acera se ha optado por diseñar pozos que serán colocados en la calzada; la falta de espacio físico imposibilita realizar el diseño con cámaras de transformación por lo que se optó por la tecnología de transformadores pedestal o padmounted.
- Mediante la investigación bibliográfica y de catálogos se ha determinado que en el mercado existe una variedad de productos los cuales no necesariamente cumplen con las especificaciones requeridas por la ELEPCO S.A.
- El proyecto económicamente no es rentable para la empresa debido a que se tiene un VAN negativo de **-89,697.30** y una relación Beneficio/Costo menor que 1, pero sin

embargo las empresas distribuidoras de energía eléctrica este tipo de proyecto no lo ven como un beneficio económico, sino un proyecto de beneficios sociales.

- Para que este proyecto sea rentable económica mente la ELEPCO S. A., debería buscar un financiamiento externo no reembolsable, como podría el municipio del cantón Salcedo u otras entidades que comprometan su aporte para el desarrollo de la ciudad.

## RECOMENDACIONES

- Es importante realizar un estudio en conjunto con las demás empresas tanto de teléfono, televisión por cable, municipio y ELEPCO S.A., con el objeto de aprovechar la intervención y planificar que todos estos servicios utilicen el sistema subterráneo a construirse; con ello se eliminaría todo el cableado existente.
- Al implementar el estudio del soterramiento de redes en Medio y Bajo voltaje, respetar el diseño y los criterios de diseño en lo referente a la obra civil, eléctrica y alumbrado público, asegurando de esta manera la viabilidad de proyecto.
- En el mercado existen equipos y materiales de diferente calidad y precios, por lo que la empresa deberá en sus especificaciones técnicas solicitar que cumplan condiciones mínimas establecidas por el MERNNR.
- Estos proyectos deben buscar un financiamiento no reembolsable porque los beneficiados son todas las personas que habitan en el sector ya que la ELEPCOS.A., y las otras empresas distribuidoras de energía no tienen un beneficio económico en este tipo de proyectos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, J. E. (2003). Caracterización de la Carga en Sistemas Eléctricos de Distribución. Recuperado 2 de diciembre de 2018, de <https://books.google.com.ec/books?id=5wLSPGCcXncC&pg=PA6&dq=alimentador+primario&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwio-t6J-YHfAhXNxPkKHf5HAI8Q6wEIMjAC#v=onepage&q=alimentador+primario&f=false>
- ARCONEL. (2006). Regulación No. CONELEC 005/14: Prestación del Servicio de Alumbrado Público General. Recuperado 1 de marzo de 2019, de [https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/10/Regulación-No.-CONELEC-005\\_14-Prestación-APG\\_.pdf](https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/10/Regulación-No.-CONELEC-005_14-Prestación-APG_.pdf)
- Avelino Pérez, P. (2001). Transformadores de Distribución: Teoría, Cálculo, Construcción y Pruebas. Recuperado 13 de junio de 2019, de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=\\_m\\_I-NT38\\_UC&oi=fnd&pg=PA3&dq=transformadores+de+distribución&ots=CzIqwf0f5T&sig=q7GDYbspYRie8v5VkUMpnWaZFB#v=onepage&q=transformadores+de+distribución&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=_m_I-NT38_UC&oi=fnd&pg=PA3&dq=transformadores+de+distribución&ots=CzIqwf0f5T&sig=q7GDYbspYRie8v5VkUMpnWaZFB#v=onepage&q=transformadores+de+distribución&f=false)
- Avilés Martínez, D. H., & Rodríguez Jijón, R. I. (2017). Diseño para la conversión a un sistema subterráneo de la red de distribución de energía eléctrica en el sector del Campus Centenario de la Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado 18 de noviembre de 2019, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14275/1/UPS-GT001896.pdf>
- Castaño, S. R. (2004). Redes De Distribución De Energía. Recuperado 3 de diciembre de 2018, de [https://books.google.com.ec/books?id=YP5-7MdPTz4C&pg=PA609&dq=transformadores+tipo+frente+muerto+sistema+de+protección&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi\\_7ofe94PfAhUrxVkkHchzAocQ6wEIJzAA#v=](https://books.google.com.ec/books?id=YP5-7MdPTz4C&pg=PA609&dq=transformadores+tipo+frente+muerto+sistema+de+protección&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi_7ofe94PfAhUrxVkkHchzAocQ6wEIJzAA#v=)

onepage&q=transformadores tipo frente muerto sistema de prot

Chaquina Bonifa, N. E., & Mise Guanoluisa, C. D. (2016). DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS TÉCNICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO ENTRE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI ELEPCO S.A. Y LA CONEXIÓN CON EL PUNTO FRONTERA DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO AMBATO PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA. Recuperado 17 de noviembre de 2019, de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11919/1/T-ESPEL-EMI-0323.pdf>

Consejo Nacional de Electricidad. (2006). Regulación CONELEC 008/11. Prestación del Servicio de Alumbrado Público General. Recuperado de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/regulaciones/>

CONSEJO NACIONAL DEL ECUADOR. (2013a). Acuerdo Interministerial No. 213.

CONSEJO NACIONAL DEL ECUADOR. (2013b). ACUERDO MINISTERIAL-MEER-211-URB. SOTERRADAS. Quito.

Duchisela Garzón, L. (2015). *DISEÑO Y ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SUBTERRÁNEA DE LA AV. MANUEL CÓRDOVA GALARZA PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO*. Escuela Politécnica Nacional.

EEP - PORTAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA. (2019). Construcción de líneas subterráneas residenciales. Recuperado 5 de noviembre de 2019, de <https://electrical-engineering-portal.com/underground-residential-distribution-layouts>

Enríquez Harper, G. (2006). El abc del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión. Recuperado 18 de octubre de 2019, de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3MJ7B0q6EhkC&oi=fnd&pg=PT20&dq=alimentadores+electricos&ots=mPG-ZmilU0&sig=vFbheTe\\_zQ2WpDUWH\\_T86gKs7qo#v=onepage&q=alimentadores electricos&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3MJ7B0q6EhkC&oi=fnd&pg=PT20&dq=alimentadores+electricos&ots=mPG-ZmilU0&sig=vFbheTe_zQ2WpDUWH_T86gKs7qo#v=onepage&q=alimentadores electricos&f=false)

- Espinosa y Lara, R. (1990). Sistemas de distribución. Recuperado 22 de abril de 2019, de [http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/784/A4 SISTEMAS DE DISTRIBUCION.pdf?sequence=4](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/784/A4%20SISTEMAS%20DE%20DISTRIBUCION.pdf?sequence=4)
- Freire, B. V. (2012). *Análisis Técnico De La Operación Del Alimentador N° 2 De La S/E Otavalo, De La Empresa Eléctrica Emelnorte S.A.* Escuela Politécnica Nacional.
- Grid Solutions. (2015). Distribution Feeder Principles. Recuperado 12 de abril de 2019, de [https://www.gegridsolutions.com/multilin/resource/Feeder/UniFlip\\_Publication/document.pdf](https://www.gegridsolutions.com/multilin/resource/Feeder/UniFlip_Publication/document.pdf)
- JES. (2012). White Paper Luminance & Illuminance. Recuperado 17 de octubre de 2019, de [www.tunnelsafety.at](http://www.tunnelsafety.at)
- Maurya Rajk, U., Bhatt, U. V. M., Sharma Vikas, K., & Dhaval, D. (2015). REVIEW & STUDY PAPER OF UNDERGROUND CABLES FOR 11KV TRANSMISSION LINE. Recuperado 17 de mayo de 2019, de [http://ijaerd.com/papers/special\\_papers/EE28.pdf](http://ijaerd.com/papers/special_papers/EE28.pdf)
- Portal Inmobiliario. (2018). Energía bajo tierra - Reportajes y entrevistas. Recuperado 2 de diciembre de 2018, de <https://www.portalinmobiliario.com/diario/noticia.asp?NoticialID=11580>
- Ramírez Castaño, S. (1996). Redes de Distribución de Energía. Recuperado 13 de abril de 2019, de <http://blog.espol.edu.ec/econde/files/2012/08/libro-redes-de-distribucion.pdf>
- Realpe Hernández, L. R. (2009). *DISEÑO ELÉCTRICO DE LA RED SUBTERRÁNEA PARA EL CASCO COMERCIAL DE LA CIUDAD DE SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS.*

Sumergibles, T., & Chilectra, S. A. (2003). Transformadores sumergibles. Recuperado 18 de mayo de 2019, de <http://www.punion.com/productos/transformadores-sumergibles/>

TEAN INGENIERIA ELECTRICA. (2017). SYStem-6:Celdas de Media Tensión. Recuperado 28 de mayo de 2019, de [http://www.tean-ingenieria.com/pdf/catalogos/2017 finales/CATALOGO\\_TEAN\\_SAREL\\_SYSTEM\\_6\\_2017 V1.pdf](http://www.tean-ingenieria.com/pdf/catalogos/2017%20finales/CATALOGO_TEAN_SAREL_SYSTEM_6_2017_V1.pdf)

Unidades de Propiedad - MERNNR. (2015a). DISEÑO DE REDES SOTERRADAS Y CONSOLIDACIÓN DE LA NORMATIVA NACIONAL ASOCIADA. Recuperado 15 de junio de 2019, de [http://www.centrosur.gob.ec/sites/default/files/Términos de referencia SOTERRAMIENTO.pdf](http://www.centrosur.gob.ec/sites/default/files/Términos%20de%20referencia%20SOTERRAMIENTO.pdf)

Unidades de Propiedad - MERNNR. (2015b). ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MATERIALES PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE REDES SUBTERRÁNEAS. Recuperado 20 de junio de 2019, de [http://www.unidadesdepropiedad.com/pdf/2d/Subterranneas/Especificacion\\_tecnica\\_2.pdf](http://www.unidadesdepropiedad.com/pdf/2d/Subterranneas/Especificacion_tecnica_2.pdf)

Unidades de Propiedad - MERNNR. (2015c). MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE REDES SUBTERRÁNEAS, 68. Recuperado 09 de julio de 2019, de [http://www.unidadesdepropiedad.com/pdf/2d/Subterranneas/Manual de construccion.pdf](http://www.unidadesdepropiedad.com/pdf/2d/Subterranneas/Manual%20de%20construccion.pdf)

# ANEXOS



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

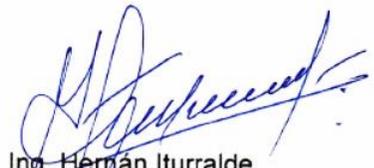
**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los Señores **CANDO TENORIO OSCAR DAMIÁN** y **PINTO LÓPEZ JORGE ENRIQUE**.

En la ciudad de Latacunga a los 17 días del mes de diciembre de 2019

Aprobado por:



Ing. Hernán Iturralde

**DIRECTOR DEL PROYECTO**



Ing. Freddy Salazar

**DIRECTOR DE CARRERA**



Dr. Rodrigo Vaca

**SECRETARIO ACADEMICO**