



# **Diseño de un centro de capacitación de linieros en redes aéreas de distribución eléctrica.**

**Juan Gabriel Berrio Posada**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Buga, Colombia  
2021

# **Diseño de un centro de capacitación de linieros en redes aéreas de distribución eléctrica**

Autor:

**Juan Gabriel Berrio Posada**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Electromecánico.**

Director (a):

Ingeniero Alfonso German Garzon

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Buga, Colombia

2021

## *Dedicatoria*

*El presente trabajo está dedicado a toda mi familia quien incondicionalmente estuvieron allí dándome el apoyo necesario durante toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida, también para aquellas personas especiales que me acompañaron en esta etapa que gracias a dios estoy culminando .*

*Juan Gabriel Berrio Posada.*

## **Agradecimientos**

A mi familia, por haber esperado todo este tiempo y sacrificar conmigo aquellos días donde no había el espacio ni tiempo para compartir juntos .

De manera especial a todos mis docentes que me enriquecieron con sus conocimientos y me guiaron en cada una de las asignaturas que ellos enseñaban con lo cual hoy puedo decir que he crecido profesionalmente.

A todos mis amigos, vecinos y futuros colegas que me ayudaron de una manera desinteresada, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad.

A la Universidad Antonio Nariño sede Buga, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

## Resumen

Este documento presenta la propuesta de diseño y construcción de un centro de formación para linieros, cuyo propósito es brindar la capacitación a las personas que lo requieran en liniera de redes aéreas de distribución eléctrica, teniendo en cuenta las competencias laborales tales como: el trabajo seguro en alturas, la instalación y mantenimiento primario de las redes de distribución eléctrica. Este trabajo se realiza, ya que en la región del Valle del Cauca se tiene un déficit de personal técnico calificado en liniería eléctrica para cubrir la alta demanda que presentan las empresas y contratistas encargadas de ejecutar las actividades correspondientes al montaje, mantenimiento y reparación de las redes aéreas de distribución eléctrica. La metodología está inscrita dentro de la investigación acción, usando ocho fases como metodología y teniendo en cuenta las normas principales vigentes, este trabajo se desarrollará en la universidad Antonio Nariño sede Guadalajara de Buga y los beneficiarios son múltiples, educativos, industrias o personas en general.

**Palabras clave:** Trabajo en alturas, Formación de Linieros, Líneas de distribución eléctrica.

## Abstract

This document presents the proposal for the design and construction of a training center for linemen, whose purpose is to provide training to people who require it in the line of overhead power distribution networks, taking into account labor competencies such as: safe work at heights, the installation and primary maintenance of electricity distribution networks. This work is carried out, since in the Valle del Cauca region there is a deficit of qualified technical personnel in electrical engineering to meet the high demand presented by the companies and contractors responsible for executing the activities corresponding to the assembly, maintenance and repair of the networks electric distribution areas. The methodology is registered within the action research, using eight phases as a methodology and taking into account the main norms in force, this work will be developed at the Antonio Nariño University, Guadalajara headquarters of Buga and the beneficiaries are multiple, educational, industries or people in general .

**Keywords:** Work at heights, Linemen Training, Electric distribution lines.

## Contenido

<b>1</b>	<b>EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>4</b>
1.1	Planteamiento del problema.....	4
1.2	Justificación.....	5
1.3	Objetivos.....	5
1.3.1	Objetivo general.....	5
1.3.2	Objetivos específicos.....	6
<b>2</b>	<b>MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>7</b>
2.1	Antecedentes .....	7
2.1.1	Plan de Expansión del Sistema Eléctrico Colombiano.....	8
2.1.2	Proyectos de Construcción y Montaje de Líneas de Alta Tensión.....	8
2.1.3	Identificación de Necesidades de las Empresas .....	8
2.1.4	Grupo Redes - Mesa de Capacitación .....	9
2.2	Marco teórico.....	9
2.2.1	Sistema de distribución .....	9
2.2.2	Redes eléctricas de distribución.....	10
2.2.3	Redes de distribución de media tensión .....	11
2.2.4	Líneas de distribución .....	12
2.2.5	Mantenimiento a líneas de distribución .....	14
2.2.6	Centros de formación.....	15
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>17</b>
3.1	Diseño metodológico .....	17
<b>4</b>	<b>DESARROLLO DEL CENTRO DE FORMACIÓN DE LINIEROS.....</b>	<b>19</b>
4.1	Normatividad para el desarrollo del trabajo.....	19
4.1.1	Norma de diseño y construcción de redes eléctricas Empresa Celsia Colombia S.A .....	19
4.1.2	INCONTEC, NTC 4552-2 Protección contra descargas eléctricas atmosféricas.....	20
4.1.3	IEEE 80-200“IEEE guide for safety in AC substation grounding” .....	20
4.1.4	IEC 62305-1: 2010 .....	20
4.1.5	IEC 60947-2 .....	20
4.1.6	NTC836. Electrotecnia. Niveles de aislamiento y ensayo para transformadores sumergidos en líquido refrigerante. ....	21
4.1.7	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).....	21
4.1.8	Norma Técnica Colombiana NTC 6072.....	23
4.1.9	Resolución 1178 del 28 .....	24

4.1.10	Métodos de formación.....	25
<b>4.2</b>	<b>Diseño para la construcción e instalación del centro. ....</b>	<b>26</b>
4.2.1	Estructura 1 . Configuración en Bandera. ....	27
4.2.2	Estructura 2. Configuración Triangular – Compacta vano largo. ....	28
4.2.3	Estructura 3. Configuración Horizontal. ....	29
4.2.4	Estructura 4. Configuración Compacta. ....	30
4.2.5	Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos. ....	32
4.2.6	. Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico. ....	33
4.2.7	Análisis de cortocircuito y falla a tierra. ....	34
4.2.8	Análisis de nivel de riesgos por rayos y medidas de protección contra rayos. ....	37
4.2.9	Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos (Numeral E del RETIE). ....	38
4.2.10	Análisis de nivel de tensión requerido .....	44
4.2.11	Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas, no se superen los límites de exposición definidos en la Tabla 14.1 del RETIE. (Numeral G del RETIE). ....	45
4.2.12	Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga. ....	47
4.2.13	Cálculo del sistema de puesta a tierra. ....	47
4.2.14	Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía. ....	63
4.2.15	Verificación de los conductores teniendo en cuenta el tiempo de disparo de los interruptores, la corriente de cortocircuito de la red y la capacidad de corriente del conductor de acuerdo a la norma IEC 60909, IEEE 242, capítulo 9 o equivalente. ....	64
4.2.16	Cálculo Mecánico de estructuras y de elementos de sujeción de equipos. ....	64
4.2.17	Cálculo y coordinación de protecciones contra sobre corriente. ....	67
4.2.18	Cálculos de canalizaciones (tubo, ductos, canaletas y electroductos) y volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas, etc.).....	69
4.2.19	Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia. ....	69
4.2.20	Clasificación de áreas .....	71
4.2.21	Elaboración de diagramas unifilares. ....	72
4.2.22	Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción. ....	72
4.2.23	Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares. ....	73
4.2.24	Establecer las distancias de seguridad requeridas. ....	73
4.2.25	Justificación técnica de desviación técnica de la NTC 2050.....	79
<b>4.3</b>	<b>Análisis financiero. ....</b>	<b>79</b>
<b>4.4</b>	<b>Procedimientos ..... </b>	<b>82</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>83</b>
<b>5.1</b>	<b>Conclusiones ..... </b>	<b>83</b>
<b>5.2</b>	<b>Recomendaciones ..... </b>	<b>84</b>
A	.Anexo : Diseño centro de entrenamiento ´para liniero universidad Antonio Nariño. ....	85



B .Anexo : Estructura 1 . Configuración en Bandera. ....	85
C .Anexo : Estructura 2. Configuración Triangular – Compacta vano largo. ....	85
D .Anexo : Estructura 3. Configuración Horizontal. ....	86
E .Anexo : Estructura 4. Configuración Compacta. ....	86
F .Anexo : procedimiento seguro para construcción de redes. ....	86
G .Anexo : procedimiento seguro para trabajo en altura y rescate en escalera . ....	86
<b>Bibliografía</b> .....	<b>87</b>

## Lista de figuras

### PÁG.

<b>Figura 2-1:</b> Red de distribución de media tensión. ....	10
<b>Figura 2-2:</b> Ramales de un circuito de distribución. ....	12
<b>Figura 3-1:</b> Metodología para desarrollar el proyecto. ....	17
<b>Figura 4-1</b> Configuración en bandera .....	27
<b>Figura 4-2</b> :Configuración Triangular .....	28
<b>Figura 4-3</b> :Configuración Horizontal .....	29
<b>Figura 4-4</b> :Configuración Compacta.....	30
<b>Figura 4-5:</b> Método de medición.....	49
<b>Figura 4-6:</b> Medidas de resistividad.....	51
<b>Figura 4-7:</b> Registro fotográfico 1 .....	51
<b>Figura 4-8:</b> Registro fotográfico 2.....	51
<b>Figura 4-9:</b> Registro fotográfico 3: Telurómetro MI 3123 SmartecEarth/Clamp de la marca METREL .....	52
<b>Figura 4-10:</b> Registro fotográfico 4, datos .....	52
<b>Figura 4-11:</b> Modelación de resistividad de las dos capas.....	54
<b>Figura 4-12:</b> Modelación de las resistividades $\rho_1$ y $\rho_2$ .....	55
<b>Figura 4-13:</b> Esquema de malla a puesta tierra.....	58
<b>Figura 4-14:</b> Curvas aproximada Split factor $S_f$ .....	60
<b>Figura 4-15:</b> Distancia de seguridad en zonas con construcciones .....	76
<b>Figura 4-16:</b> Distancia f y g para cruces con ferrocarriles y ríos .....	77



# Lista de tablas

PÁG.

<b>Tabla 4-1:</b> Descripción de las cargas inicial y futura Proyecto red MT/BT Universidad Antonio Nariño sede Buga. ....	32
<b>Tabla 4-2:</b> Datos básicos del punto de conexión.....	35
<b>Tabla 4-3:</b> Matriz para análisis de riesgo. ....	39
<b>Tabla 4-4:</b> Decisiones y acciones para controlar el riesgo .....	39
<b>Tabla 4-5:</b> Factor de riesgo medio por rayos .....	40
<b>Tabla 4-6:</b> Factor de riesgo bajo por impacto de rayo.....	41
<b>Tabla 4-7:</b> Factor de riesgo ambiental muy bajo por impacto de rayo. ....	42
<b>Tabla 4-8:</b> Factor de riesgo en construcción muy bajo.....	42
<b>Tabla 4-9:</b> Factor de riesgo por impacto medio.....	43
<b>Tabla 4-10:</b> Acciones y decisiones sobre factor de riesgo .....	44
<b>Tabla 4-11:</b> Valores límites de exposición a campos electromagnéticos.....	46
<b>Tabla 4-12</b> Especificaciones técnicas del Transformador a instalar. ....	47
<b>Tabla 4-13:</b> Datos obtenidos.....	53
<b>Tabla 4-14:</b> Constantes de materiales de la norma IEEE 80.....	56
<b>Tabla 4-15:</b> Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones.....	75
<b>Tabla 4-16:</b> Distancia mínima de seguridad para diferentes situaciones .....	78
<b>Tabla 4-17:</b> Presupuesto de materiales .....	80

## **Introducción**

Las líneas de distribución son una parte significativa del Sistema Eléctrico Nacional, ya que se encargan de transportar la energía eléctrica a grandes distancias para hacerla llegar a industrias, poblaciones y ciudades grandes. Una falla puede representar grandes pérdidas para las compañías de electricidad, las empresas y los usuarios finales. Por esto, existen planes de mantenimiento para todas sus instalaciones de la red de distribución, a fin de conservar en buenas condiciones las líneas y garantizar con ello el correcto suministro de energía eléctrica. Estos planes son ejecutados por técnicos electricistas llamados linieros, los cuales realizan maniobras de inspección, mantenimiento y restauración de líneas durante contingencias. (Galván y otros, 2011).

Actualmente en la región se tiene un déficit de personal técnico calificado en liniería eléctrica para cubrir la alta demanda que presentan las empresas y contratistas encargadas de ejecutarlas actividades correspondientes al montaje, mantenimiento y reparación de las redes aéreas de distribución eléctrica. Por otro lado, en el municipio de Guadalajara de Buga no se cuenta con los suficientes centros de capacitación homologados para realizar la práctica de trabajo seguro en alturas, generando así atrasos significativos en la certificación del personal al

## Introducción

---

tener que desplazarse a otros centros fuera del municipio para poder certificarse (INELMA, 2019).

Las empresas y contratistas del sector eléctrico al no contar con suficiente mano de obra calificada para llevar a cabo la cantidad de montajes, mantenimientos y reparaciones demandadas por los diferentes clientes de la región, pueden ocasionar una serie de problemas muy críticos tales como: fallas eléctricas generadoras de accidentes, cortes prolongados del suministro eléctrico a la población, traumatismos sociales y la terminación de contratos ya adjudicados, lo que representaría un desequilibrio económico para las compañías líderes del sector eléctrico en el Valle del Cauca.

El propósito general de este trabajo es diseñar e implementar un centro de capacitación de linieros en redes aéreas de distribución eléctrica, donde se incluirá las memorias de diseño, cálculos y el material técnico necesario (planos, procedimientos y plan de mantenimiento preventivo) para diseñar, instalar, operar, mantener y llevar a cabo el entrenamiento del personal que lo requiera en el centro de capacitación de linieros en redes aéreas de distribución eléctrica que se construirá en la universidad Antonio Nariño sede Guadalajara de Buga. Con este propósito se da origen a un centro de enseñanza sobre tareas de mantenimiento en Línea Viva, que están orientadas a la operación sobre las redes, con técnicos competentes, ejecutando maniobras de mantenimiento sin restringir el fluido eléctrico.

Este proyecto se encuentra enmarcado dentro de la línea de “proyecto de ayudas educativas o de diseño y construcción de equipos que tengan por finalidad mejorar la docencia, la industria o la salud”. La población directamente beneficiada con los resultados del proyecto, son los siguientes: (1) Educativos: las cuales podrán hacer visitas y prácticas con los estudiantes en el centro de formación, con el objetivo de interiorizar los conocimientos teóricos impartidos en los

## Introducción

---

diferentes centros educativos (de formación para el trabajo, de formación media técnica y de educación superior); (2) Industrias de la región: estas podrán acceder a los servicios de entrenamiento ofrecidos en el centro de formación para linieros, y así dar cumplimiento a sus correspondientes programas de entrenamiento y reentrenamiento del personal técnico en competencias laborales tales como: trabajo seguro en alturas e instalación y mantenimiento básico de líneas de distribución eléctrica; y además al público en general o (3) Personas en general: se refiere a las personas que requieran entrenamiento y reentrenamiento fundamentalmente en el trabajo seguro en alturas.

# 1 El problema de investigación

## 1.1 Planteamiento del problema

El mantenimiento en líneas energizadas es una actividad compleja y con muchos riesgos inherentes, por lo que la capacitación del personal en esta área es de gran importancia para el sector de energía eléctrica. El plan de mantenimiento para las instalaciones de la red de distribución, tiene como propósito fundamental conservar en buenas condiciones las líneas y garantizar con ello el correcto suministro de energía.

En el Departamento del Valle del Cauca, presenta un déficit en cuanto a personal técnico calificado en liniería eléctrica, que pueda cubrir la alta demanda que ostentan las empresas y contratistas encargadas de elaborar las acciones adecuadas al montaje, mantenimiento y reparación de las redes aéreas de distribución eléctrica. Específicamente en el municipio de Guadalajara de Buga no existen lugares de capacitación homologados para efectuar la práctica de labor segura en alturas, esto genera atrasos importantes en la certificación del personal, ya que tienen que buscar dicho certificado a otro lugar fuera del Municipio.

La práctica en este campo está sujeta a las necesidades de mantenimiento de las líneas, por ejemplo, en zonas que poseen una baja presencia de tormentas eléctricas, puede pasar mucho tiempo para que un técnico pueda realizar la actividad adecuada para resolver los problemas que se necesitan. En cambio, si se encuentran capacitados, los técnicos pueden conocer lo que se necesita para resolver la dificultad, ya que este trabajo se realiza usualmente sin interrumpir el suministro eléctrico, por tal motivo es necesario recurrir a técnicas de mantenimiento en líneas vivas realizadas por los linieros, sin embargo, existen también muchos riesgos al realizar la labor.

## **1.2 Justificación**

El centro de capacitación de linieros busca que la Universidad Antonio Nariño sede Guadalajara de Buga, a través de un pensum educativo, pueda ofrecer a las empresas y contratistas del sector eléctrico de la región, una opción para la capacitación y certificación de personal técnico especializado en liniería de redes aéreas de distribución eléctrica.

De esta forma, sería posible disminuir el déficit de personal calificado que se presenta para ocupar las vacantes disponibles en las diferentes empresas y contratistas del sector eléctrico, al mismo tiempo que se generan oportunidades de empleo para la población estudiantil de la universidad Antonio Nariño de las áreas eléctricas y afines en general. Por otro lado, con este centro de capacitación no solo se busca entrenar al personal técnico en liniería de redes aéreas de distribución eléctrica, sino que también de acuerdo al decreto 1072 y la resolución 1409 que rige los requisitos legales de trabajo seguro en altura a partir de los 1.50 m, se pretende realizar reentrenamientos periódicos cada año al personal operativo y administrativo de las empresas, lo que representaría a la Universidad Antonio Nariño una muy buena posibilidad para generar ingresos económicos adicionales a partir de la capacitación y certificación del personal técnico en liniería especializada.

El centro de entrenamiento contara adicionalmente con 4 etapas o estaciones construidas en postes de 2 metros en la cual el estudiante podrá interactuar y conocer las principales configuraciones que se utilizan para soportar el cruce de redes y el aislamiento que separa la línea eléctrica de los herrajes en los postes de distribución, además podrán conocer de muy cerca los materiales que se utilizan en este tipo de montaje con lo cual podrán obtener el conocimiento necesario que se requiere en el campo de operaciones.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar un centro de capacitación de linieros en redes aéreas de distribución eléctrica.



---

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Consultar la normatividad vigente que debe tenerse en cuenta para el diseño del centro de capacitación de linieros en redes aéreas de distribución eléctrica.
- Seleccionar a través de cálculos y procedimientos establecidos, los componentes (materiales, máquinas, elementos, herramientas y elementos de protección personal (EPP) requeridos para el diseño del campo de entrenamiento.
- Elaborar los procedimientos de operación y funcionamiento así como también de trabajo seguro en altura.
- Realizar el presupuesto de los costos directos del montaje y operación del campo de entrenamiento.

## 2 Marco referencial

### 2.1 Antecedentes

El sector eléctrico colombiano es un pilar esencial para el desarrollo y crecimiento económico, tecnológico y social del país. La instalación de líneas de transmisión y distribución eléctrica para llevar a cabo la ampliación del servicio o mantenimiento de las redes existentes, es una labor técnica que requiere conocimientos especializados para evitar diferentes riesgos que pueden ser catastróficos para la infraestructura eléctrica, el medio ambiente, la economía y la sociedad en general. Los linieros son el personal técnico especializado que se deben encargar de tales trabajos, los cuales, para su capacitación y certificación dentro del contexto nacional, se han venido estableciendo convenios y alianzas entre entidades de educación superior (SENA, CIDET, Universidad Católica de Oriente, Corporación Tener Futuro, entre otras) y empresas del sector eléctrico (CHEC, EPM, INMEL, ISA Intercolombia, Clúster de Energía Eléctrica, EPSA, CELSIA, entre otras) para edificar centros de capacitación y certificación para linieros (CHEC, INMEL, Torrico (2019)) ya que el déficit a nivel nacional según cifras del CIDET (corporación centro de innovación y desarrollo tecnológico del sector eléctrico) se encuentra alrededor de 800 linieros para cubrir las vacantes disponibles en todo el territorio nacional (CIDET, 2019).

Algunas empresas en convenio con entidades educativas han construido ya algunos centros de entrenamientos para linieros, casos conocidos como la empresa de energía de Pereira en convenio con el Sena de Risaralda que construyeron un centro de entrenamiento dentro de sus instalaciones, la compañía eléctrica de norte de Santander (CENS) conjuntamente con el Sena regional de norte de Santander los cuales construyeron 3 campos de entrenamiento para linieros en la región santandereana, otra gran compañía que se suma a este tan importante tema es la central hidroeléctrica de caldas (CHEC) en convenio con el Sena quienes construyeron un centro de entrenamiento y capacitación para linieros en Manizales.

### **2.1.1 Plan de Expansión del Sistema Eléctrico Colombiano**

La Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME, adscrita al Ministerio de Minas y Energía (Colombia), elaboró el “Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión 2014-2028”, identificando las necesidades del país en cuanto a nuevas capacidades de generación y recomendó proyectos de expansión del Sistema de Transmisión Nacional -STN-, con el fin de asegurar el adecuado suministro de energía eléctrica y garantizar la atención de demanda del país en el futuro inmediato y en un horizonte que va hasta el año 2028.

Este Plan de Expansión, muestra un gran crecimiento del sector eléctrico colombiano para el período 2016-2020 y la necesidad de construir más de 5.000 km de líneas de transmisión (115-230-500 kv):

- Sistema de Transmisión Nacional - STN: 2.500 km
- Sistemas de Transmisión Regional - STR: 2.100 km

### **2.1.2 Proyectos de Construcción y Montaje de Líneas de Alta Tensión**

Esquema de Operación: Los nuevos proyectos de líneas de transmisión en Colombia salen a convocatoria pública a través de la UPME, a las cuales se presentan las empresas transportadoras de energía, las más representativas: ISA-INTERCOLOMBIA, EPM y EEB.

Las empresas transmisoras a su vez contratan a las empresas constructoras, para la ejecución y montaje de los proyectos adjudicados. Estas empresas contratistas son las que requieren la mano de obra de “linieros” capacitados y certificados, para llevar a cabo este compromiso con el sector.

### **2.1.3 Identificación de Necesidades de las Empresas**

Desde el Clúster de Energía (Medellín y Antioquia), se constituyó el Grupo Redes, conformado por las empresas ISA-INTERCOLOMBIA, EPM e ISAGEN. Consistente en una red de sinergias que, desde la unión de voluntades y por convicción, trabaja en el apalancamiento del desarrollo con el fin de alcanzar la sostenibilidad empresa–sociedad.

Desde este grupo se presentaron las primeras iniciativas para la realización del Proyecto formación de linieros. Fue así como en septiembre de 2014 se invitaron a las diferentes

empresas contratistas de construcción y montaje de líneas de transmisión bajo la premisa del Clúster “Generando sinergias con Proveedores y Contratistas”, con el fin de prepararse para la ejecución del Plan de Expansión del Sector.

Como metodología se conformaron tres (3) mesas de trabajo con el propósito de identificar y generar planes de acción que permitan el cierre de brechas existentes en la industria y mejorar la competitividad del sector:

- Gestión de Proyectos: Optimizar tiempos y costos.
- Precontractual: Pertinencia de los términos de referencia
- Capacitación: Desarrollo de competencias técnicas - Programa de formación.

### **2.1.4 Grupo Redes - Mesa de Capacitación**

Objetivo: Implementar acciones enfocadas en el desarrollo de competencias técnicas involucradas en el negocio de transmisión de energía.

Alcance: Capacitación y formación adecuada del recurso humano de acuerdo con las necesidades del sector eléctrico. Además, la estructuración de Centros de capacitación.

Proyecto: Formación de técnicos en construcción y montaje de líneas de transmisión.

## **2.2 Marco teórico**

El trabajo del liniero en las redes comienza con el análisis y discusión de la labor a desarrollar en los planos eléctricos y los diversos formatos adecuados para ello, en ellos se describen topológicamente el circuito a intervenir, los niveles de voltaje y las corrientes de corto circuito calculadas y esperadas en el punto, además se debe listar las herramientas y equipos necesarios para acometer el trabajo específico, junto con el permiso de trabajo en alturas firmado por el supervisor, el ingeniero responsable y el trabajador liniero. (Pinza y Mejía, 2013).

### **2.2.1 Sistema de distribución**

Un sistema de distribución de energía eléctrica es un conjunto de equipos que permiten energizar en forma segura y confiable un número determinado de cargas, en distintos niveles de tensión, ubicados generalmente en diferentes lugares. (Galván y otros, 2011).

Según Perén (2009), un sistema de distribución eléctrica está compuesto fundamentalmente por torres en base a enrejados, con características mecánicas ajustadas a las demandas

instituidas en las memorias de cálculo, de acuerdo a la topografía del terreno y de las condiciones climáticas del sector y conductores del material que cumpla con las características mecánicas y eléctricas de acuerdo a los criterios del proyecto.

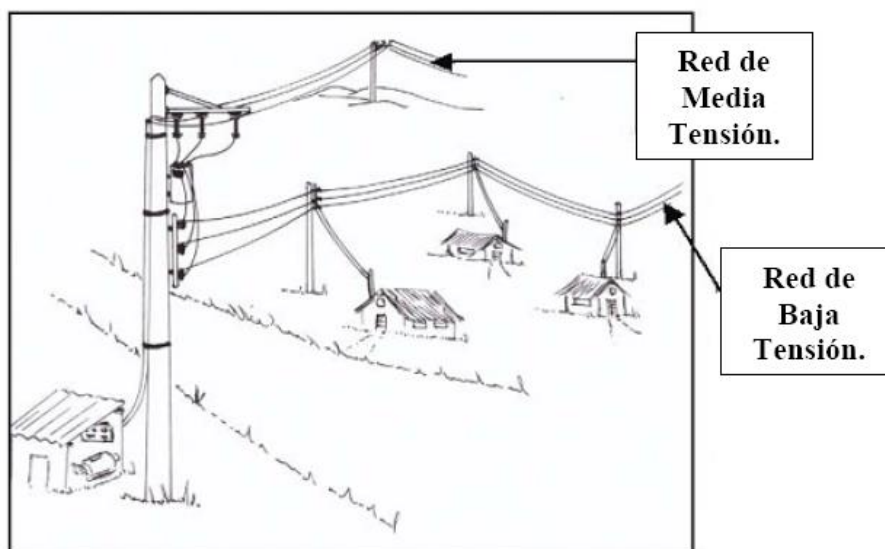
Según Morón (2009), un sistema de distribución de energía eléctrica es el conjunto de elementos encargados de conducir la energía desde una subestación de potencia hasta el usuario. Básicamente, la distribución de energía eléctrica comprende las líneas primarias de distribución, los transformadores de distribución, las líneas secundarias de distribución y las acometidas y medidores.

### 2.2.2 Redes eléctricas de distribución

Para Perén (2009), una red de distribución está compuesta por conductores, postes, ferretería y accesorios con la intención de distribuir la energía en toda la localidad. Una red de distribución de acuerdo al nivel de voltaje que manipula puede ser:

- Baja tensión (BT) cuando se maneja voltajes hasta los 1,000 Voltios.
- Media tensión (MT) cuando se maneja desde los 1,000 hasta menos de 69,000 Voltios.

**Figura 2-1:** Red de distribución de media tensión.



Fuente: Perén (2009, p. 45).

Si las redes se levantan en media tensión pueden venir acompañadas de las redes de baja tensión como se puede ver en la figura 2-1. Para identificar una red de distribución es necesario conocer las siguientes características:

- Número de fases.
- Nivel de tensión.
- Frecuencia.
- Número de conductores.
- Forma de aterramiento.

Por ejemplo: una determinada red puede identificarse de la siguiente forma:

- Red primaria trifásica de 13.8 kv, 60 Hz, 3 hilos.
- Red primaria bifásica de 13.8 kv, 60 Hz, 2 hilos.
- Red secundaria monofásica de 13.8kV, 60 Hz, 1 hilo neutro físico.

El esbozo de una línea de distribución comprende el acatamiento de ciertas normas de seguridad para su construcción y mantenimiento, así como la elección del tipo de conductor, sistemas de soporte para el conductor escogido, trayectoria de la línea y el equipo necesario, que darán la calidad del servicio por el costo promedio global más bajo durante toda la vida en servicio. (Perén, 2009).

### **2.2.3 Redes de distribución de media tensión**

En las redes de media tensión se presentan varias normas o clases de normativas, que rigen cada una de las partes que conforman la red de media tensión. Donde se pueden señalar por ejemplo las normas que presiden el equipo que se usa en las redes de media tensión, también las que rigen la calidad de aislamiento que se maneja, en una red de media tensión de distribución. (Perén, 2009).

Existen varias clases de normativas, que vienen a aportar para que la labor en líneas vivas, se lleve de una manera apropiada y segura para el personal que trabaja, asimismo para los clientes que manejan el servicio que prestan las distintas empresas que ofrecen el servicio eléctrico, se pueden mencionar algunas normas que se usan al respecto. (Perén, 2009).

- Normas internacionales IEC.
- Normas Americanas ANSI.
- Normas británicas BS.

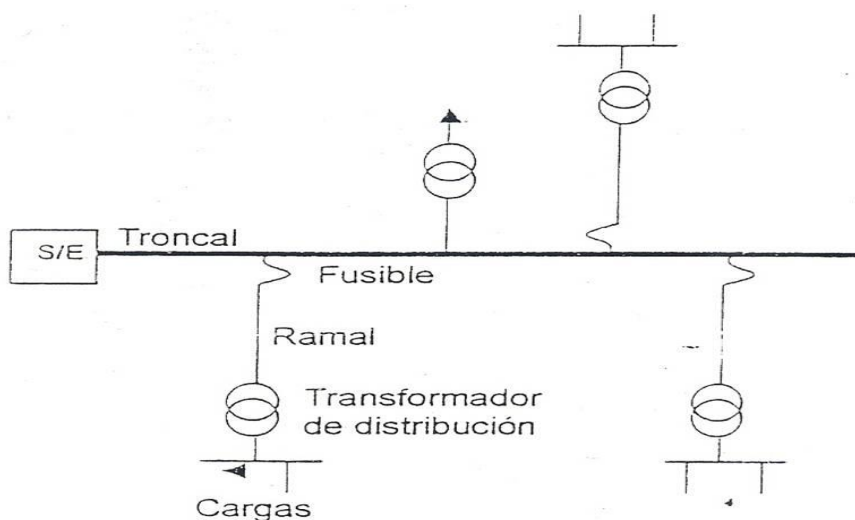
- Normas internacionales ASTM (American Society for Testing Materiales).
- Normas internacionales UNE.
- Regulaciones OSHA “Occupational Safety and Health Administration”, de obligatorio cumplimiento en los Estados Unidos. Protección al trabajador en materia de seguridad y salud.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

## 2.2.4 Líneas de distribución

Para Galván y otros (2011), las líneas de distribución son una parte importante del sistema eléctrico nacional, ya que son las acreditadas para transportar energía eléctrica a grandes distancias para hacerla llegar a toda población o lugar donde se requiera.

Para Perén (2009), las líneas de mediana tensión son las líneas que más se utilizan, después de las de baja tensión, y que, en el caso de las naciones pobres, la gran mayoría son aéreas. Por esa razón, se da énfasis a la protección de sistemas aéreos de media tensión. Para la operación, mantenimiento y protección, dependiendo de su ubicación en el sistema, las líneas pueden tomar los siguientes nombres figura 2-2.

**Figura 2-2:** Ramales de un circuito de distribución.



Fuente: alba Zamora, redes eléctricas

Los ramales de distribución se clasifican así:

- a) Ramal Principal: Son las líneas que emergen desde la subestación y están protegidas exclusivamente por el disyuntor o restaurador automático de la misma.

b) Ramal secundario: Son líneas que se desprenden del ramal principal y están protegidas por un elemento adicional que puede ser: Un corta circuito con su fusible, un restaurador de línea o un seccionalizador. Los principales materiales de una red de distribución son:

**Cables conductores:** en redes primarias de media tensión se utiliza el cable desnudo de aluminio con alma de acero denominado ACSR, este tipo de conductor, desde el número 8 hasta el 4/0 está conformado por 6 hilos de aluminio y 1 hilo de acero. Las características se muestran en la tabla I que se presenta a continuación. (Perén, 2009).

**Postes;** son los aparatos de soporte sobre los que se van a ensamblar los demás mecanismos, en redes de distribución se pueden usar los postes de madera tratada (eucalipto que es la más común), igualmente se usan otras especies como los postes de palma negra o los de cuchi. Además, se pueden recurrir a postes de concreto, estos postes de concreto son lo más utilizados en Colombia en las redes de media tensión. Las alturas recomendadas son desde los 9 hasta los 12 metros que se usarán de acuerdo a las necesidades. (Perén, 2009).

También se hallan en uso varios tipos de estructuras, para soportar los conductores de las líneas de transmisión, como, por ejemplo: torres de acero auto soportadas, postes de concreto auto soportados, postes de concreto soportados por retenidas, postes metálicos auto soportados, postes de madera. (Perén, 2009).

**Herrajes:** se han desarrollado herrajes que se utilizan en líneas aéreas con voltajes iguales o superiores a 10 kv, para fijar, empalmar, proteger, separar, etc., conductores de aleación de aluminio y/o cables de guarda de acero galvanizado. Los herrajes se instalarán tanto en ambientes normales, secos, húmedos, con neblina, influencia salina y/o en zonas con contaminación ligera, media, fuerte y muy fuerte. (Perén, 2009).

**Aisladores:** Estos desempeñan la función de detener mecánicamente el conductor conservándolo aislado de tierra y de otros conductores. Son construidos de porcelana y pueden ser: aisladores de apoyo, aisladores de tensión y para baja tensión se utilizan los aisladores tipo carrete. (Perén, 2009).

De igual manera, estos elementos deben soportar tensión de frecuencia industrial e impulso de maniobra y atmosféricos, tanto en seco como bajo lluvia. Intervienen en la tensión resistida la forma de los electrodos extremos del aislador. Una característica importante es la radio interferencia, ligada a la forma del aislador, a su terminación superficial, y a los electrodos (morsetería). (Perén, 2009).

**Protección:** Estos protectores de sobre corrientes se utilizan en los seccionadores tipos fusible, conocidos como Cut Out, cuyo objetivo es proteger la línea, los equipos, el



transformador y personal contra falla del sistema, para que puede generar una sobre corriente que culmine en el daño o accidente de cualquier operador.(Perén, 2009).

**Protección de sobre tensiones.** Esta se da normalmente en las líneas de transmisión o distribución eléctrica, igualmente en las distintas clases de subestaciones, sean estas manipuladas por empresas transmisoras, distribuidoras, industrias privadas o empresas mineras en donde por efectos directos o indirectos de descargas atmosféricas rayos se pueden presentar sobre tensiones que exceden la tensión nominal de la línea, admitiendo que en estos caso actúen los pararrayos de línea, enviando a tierra esta sobre tensiones. (Perén, 2009).

### 2.2.5 Mantenimiento a líneas de distribución

Para Galván y otros (2011) una falla en la línea de distribución puede significar grandes pérdidas para las compañías de electricidad, las empresas y los consumidores. Por esta razón, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) ejecuta un plan de mantenimiento para todas sus instalaciones de la red de distribución, con el fin de mantener en buenas condiciones las líneas y responder con estas acciones el suministro de energía eléctrica, esto es ejecutado por los linieros, los cuales se encargan de efectuar las maniobras de inspección, mantenimiento y restauración de las líneas durante contingencias.

Para los mismos autores, efectuarlas labores de mantenimiento en instalaciones eléctricas prácticamente debe ser desarrollado sin imposibilitar el suministro eléctrico, por tal motivo es necesario acudir a técnicas de mantenimiento en línea viva efectuadas por humanos, sin embargo, estas técnicas pueden acrecentar el número de accidentes causados por una descarga eléctrica, ya que los linieros se hallan expuestos a muchos riesgos, como la necesidad de ascender a estructuras muy altas y en zonas de difícil acceso, distancias de seguridad que respetar, espacios de trabajo reducidos con poca ventilación, susceptibles a una inundación y a la presencia de gases tóxicos entre otros.

Los pasos necesarios para realizar las maniobras varían en función de cuatro posibilidades fundamentales:

1. El tipo y configuración de las instalaciones.
2. La técnica de mantenimiento que domina el técnico.
3. El equipo de ascenso/descenso disponible.
4. Herramientas de trabajo disponibles.

**Importancia de los trabajos en línea viva (redes energizadas):** Según Perén (2009), existe una necesidad de ejecutar trabajos de mantenimiento en líneas vivas, los cuales van creciendo asiduamente debido a la natural expansión de las líneas, al acrecimiento del voltaje en las de distribución y a la necesidad cada vez más imperiosa de mantener la continuidad del servicio eléctrico. El costo de efectuar un mantenimiento de redes eléctricas sin tensión es alto para las industrias, comercios y clientes en general, por lo que se hace imprescindible que estos trabajos en lo posible sean ejecutados en línea energizada.

**Perfil del personal que realiza trabajos en línea viva (redes energizadas):** Cuando se van a favorecer empleados o firmas contratistas para efectuar trabajos en líneas vivas se puede manejar un simple sistema de filtro. En principio sólo se les implica ratificar el cumplimiento de los trabajos en líneas vivas a los sujetos o contratistas capacitadas y competentes en la electrotécnica. Es muy importante que estos sujetos laboren rigurosamente según las instrucciones y procedimientos de trabajo cuando estén efectuando labores en líneas vivas, se debe colocar especial énfasis en la política de selección del personal. (Perén, 2009).

### **2.2.6 Centros de formación**

Los espacios de formación, nacieron como una necesidad de prevenir accidentes fatales imputados a la corta experiencia de los trabajadores, que ejecutaban labores de construcción o reparación sobre líneas energizadas. Los sujetos encargados de capacitar a la nueva generación de linieros, generalmente han sido operarios veteranos. Con el tiempo se crearon instituciones dedicadas a brindar educación especializada en redes eléctricas a nivel técnico, tecnológico y profesional. (Bejarano y Moreno, 2013).

Para realizar las maniobras de inspección, mantenimiento y restauración de las líneas durante contingencias, se necesita personal capacitado, a fin de reducir riesgos y evitar daños a equipos e individuos. Usualmente, se capacitaba bajo el esquema tradicional de formación, el entrenamiento de nuevos linieros lo efectúa un liniero experimentado, quien se desenvuelve como un instructor que transfiere sus conocimientos mediante la experiencia. Con la construcción de un centro de formación, los nuevos aspirantes a linieros, se instruyen sobre la teoría mediante cursos presentados por personal calificado, donde estos aprendices son integrados a un grupo de trabajo donde primeramente participan en tareas sencillas como inspección y limpieza del área de trabajo, selección, preparación y entrega de instrumentos al

personal que labora en la altura, poco a poco van aprendiendo a realizar el ascenso en diferentes estructuras y actuar como observador durante la ejecución de las maniobras. Paulatinamente se le van fijando actividades de mayor grado de dificultad y riesgo, hasta que alcance las habilidades necesarias para laboral en líneas energizadas. (Galván y otros, 2011).

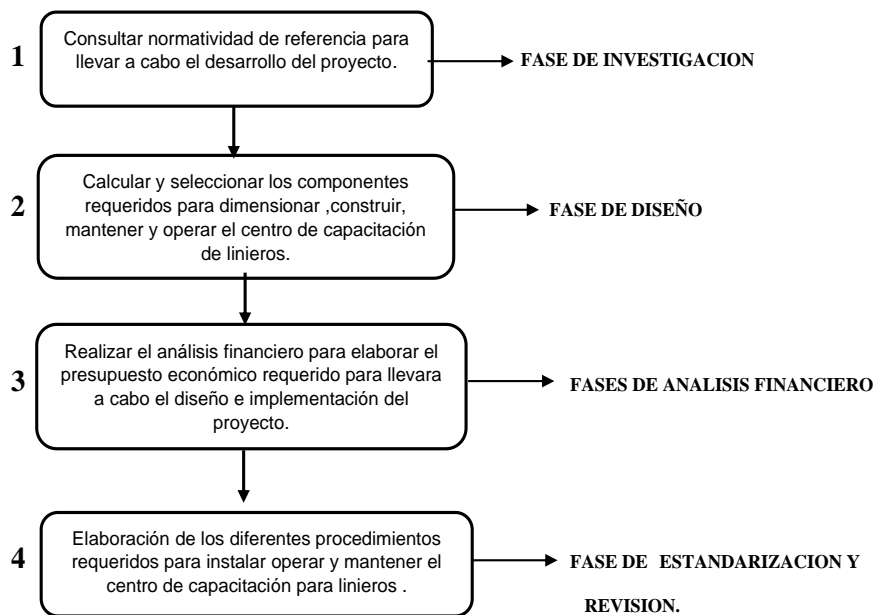
El objetivo de cualquier centro de formación de linieros, es disponer de personal capacitado y certificado, para atender las necesidades requeridas en la construcción, inspección, mantenimiento y reparación de las líneas de Transmisión de Energía eléctrica en Colombia, ya que esto es vital para el desarrollo energético del país.

## 3 Metodología

### 3.1 Diseño metodológico

Para el diseño de este centro de capacitación de linieros en redes aéreas de distribución eléctrica, se agruparon y organizaron de forma secuencial, las actividades principales que intervienen en el proyecto, las cuales se definieron a partir de los objetivos específicos y estructuraron posteriormente bajo el siguiente esquema:

**Figura 3-1:** Metodología para desarrollar el proyecto.



Fuente: autoría propia.

En primer lugar, las normas principales de referencia que servirán de guía para cumplir con los requisitos para llevar a cabo la formación y certificación de los centros de capacitación para linieros son las siguientes: Norma NTC 6072, norma 1409, norma 1178, norma NTC 5581, norma NTC 2050 y el RETIE.

Por otro lado, el alcance de formación del centro de capacitación de linieros se enfocará fundamentalmente en el desarrollo de las siguientes competencias:

- ▶ Aprender sobre seguridad en el trabajo en alturas (técnicas y elementos de protección).

- ▶ Conocer e identificar los diferentes materiales, componentes y herramientas requeridas en las actividades relacionadas con la liniería en redes de distribución eléctrica (media y baja tensión).
- ▶ Conocer e identificar diferentes estructuras y configuraciones correspondientes a las redes de distribución eléctrica.
- ▶ Montaje y desmontaje de los diferentes elementos que componen una red de distribución eléctrica.
  
- ▶ Diferenciar las diferentes características de las redes eléctricas, con respecto a los niveles de tensión de las mismas.

En cuanto al diseño, cálculo y selección de los componentes del centro de formación, principalmente se realizará con base a la norma CELSIA (incluyendo los anexos correspondientes a las instalaciones eléctricas de baja y media tensión, y descritos en el marco teórico del presente documento).

Posteriormente para realizar el análisis financiero indispensable para elaborar el presupuesto económico, se aplicará el método de unidades constructivas, donde se especificarán los costos de los diferentes materiales y la mano de obra requerida para la construcción e instalación del centro de formación.

Luego para la elaboración de los diferentes procedimientos, se diseñará en el programa Microsoft Excel una plantilla en la cual se especificarán puntualmente y de manera secuencial las actividades que correspondan para cada uno de los procedimientos a elaborar, los cuales básicamente serán los siguientes:

- ▶ Procedimiento de seguridad para el trabajo en alturas.
  
- ▶ Procedimiento de montajes y desmontajes de componentes primarios de la red de distribución.
  
- ▶ Procedimiento de mantenimiento preventivo para el centro de formación.

Por otro lado, el perfil del administrador del centro de formación para linieros, como mínimo debe ser de tecnólogo eléctrico, electromecánico o áreas afines, de igual manera también debe contar con experiencia en liniería eléctrica y estar certificado en trabajo seguro en alturas.

En cuanto a los diferentes cursos que se esperan ofrecer en el centro de formación para linieros, se definen los siguientes:

- ▶ Reentrenamiento en trabajo seguro en alturas.
  
- ▶ Certificación en liniería de redes de distribución eléctrica.
  
- ▶ Coordinador de trabajo seguro en alturas.

## **4 Desarrollo del centro de formación de linieros**

### **4.1 Normatividad para el desarrollo del trabajo**

A continuación se presentas las diferentes normas utilizadas para la realización de este trabajo:

#### **4.1.1 Norma de diseño y construcción de redes eléctricas Empresa Celsia Colombia S.A**

Esta norma, son los requisitos de instalación se verifican en el proceso de certificación de la instalación, según lo establecido en el RETIE y demás reglamentación vigente. Los equipos de medida deberán tener el respectivo certificado de calibración de un laboratorio de metrología acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia ONAC cuya vigencia no debe ser mayor a cuatro meses. Los equipos de medida deben quedar ubicados después del equipo de maniobra; cortacircuitos fusible, reconectador o interruptor, con lo cual se garantiza la no afectación de la calidad del suministro a otros clientes cuando se produzca un daño en estos equipos de medida.

### **4.1.2 INCONTEC, NTC 4552-2 Protección contra descargas eléctricas atmosféricas**

Esta serie de normas NTC 4552 aplica a la evaluación de riesgo en una estructura o en sus acometidas de servicio debido a descargas de rayos a tierra. El alcance de la presente norma es establecer un procedimiento para la evaluación de dicho riesgo. Una vez se seleccione un límite de riesgo superior tolerable, este procedimiento permite la selección de medidas de protección apropiadas que deben adoptarse para reducir el riesgo aun límite tolerable o por debajo de él.

### **4.1.3 IEEE 80-200“IEEE guide for safety in AC substation grounding”**

La Norma ANSI / IEEE standard 80-2000 “IEEE Guide for Safety in AC Substation grounding” aplica a casos prácticos, la norma es una guía didáctica para que lo requieran puedan enfrentar problemas prácticos que se necesitan para el desarrollo de un proyecto eléctrico.

### **4.1.4 IEC 62305-1: 2010**

Esta proporciona principios generales que deben seguirse para la protección de estructuras contra rayos, incluidas sus instalaciones y contenidos, así como a personas

### **4.1.5 IEC 60947-2**

El cumplimiento de la norma IEC 947-2 renombrada IEC 60947-2 después de 1997, puede considerarse como una seguridad total en el empleo de los interruptores.

(Anexo A)

#### **4.1.6 NTC836. Electrotecnia. Niveles de aislamiento y ensayo para transformadores sumergidos en líquido refrigerante.**

Esta norma establece los niveles de aislamiento y los ensayos de los devanados para los transformadores de distribución y potencia sumergidos en líquido refrigerante, con tensión de serie menor de 110Kv.

#### **4.1.7 Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)**

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) (2013) es un documento técnico-legal para Colombia expedido por el Ministerio de Minas y Energía. En este se encuentran los principales parámetros para tener en cuenta para que una instalación eléctrica sea lo más segura posible, no es una guía de diseño eléctrico y es de obligatorio cumplimiento en este país.

El RETIE es un documento que contiene los lineamientos más importantes sobre la seguridad y buenas prácticas eléctricas, está conformado por 39 Artículos y 211 páginas, es un documento de libre descarga y distribución, que se puede descargar en la página oficial del ministerio de minas y energía de Colombia.

Lo que busca el RETIE es garantizar que las instalaciones, equipos y productos usados en la generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de la energía eléctrica, cumplan con los siguientes objetivos legítimos:

- La protección de la vida y la salud humana.
- La protección de la vida animal y vegetal.
- La preservación del medio ambiente.
- La prevención de prácticas que puedan inducir a error al usuario.

El reglamento debe ser aplicado a toda nueva instalación o ampliación, en los procesos de generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de la energía eléctrica (Uso final). Igualmente aplica a las instalaciones eléctricas, a los productos utilizados en ellas y a las personas que las intervienen.



Los requisitos y prescripciones técnicas de este reglamento son obligatorios cumplirlos en Colombia, en cualquier tipo de instalación eléctrica utilizada en la generación, transporte, transformación, distribución y uso final de la electricidad, incluyendo las que alimenten equipos para señales de telecomunicaciones, electrodomésticos, vehículos, máquinas, herramientas y demás equipos.

El numeral 10.1 del RETIE «Diseño de las instalaciones eléctricas», indica que “Toda instalación eléctrica a la que le aplique RETIE, debe contar con un diseño realizado por un profesional o profesionales legalmente competentes para desarrollar esa actividad. El diseño podrá ser detallado o simplificado según el tipo de instalación, conforme a las Leyes 51 de 1986 y 842 de 2003.

Las partes involucradas con el diseño deben atender y respetar los derechos de autor y propiedad intelectual de los diseños. La profundidad con que se traten los temas dependerá de la complejidad y el nivel de riesgo asociado al tipo de instalación y debe contemplar los ítems que le apliquen de la siguiente lista:

- a. Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos.
- b. Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.
- c. Análisis de cortocircuito y falla a tierra.
- d. Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos.
- e. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.
- f. Análisis del nivel tensión requerido.
- g. Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas, no se superen los límites de exposición definidos en la Tabla 14.1
- h. Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.
- i. Cálculo del sistema de puesta a tierra.
- j. Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.
- k. Verificación de los conductores, teniendo en cuenta el tiempo de disparo de los interruptores, la corriente de cortocircuito de la red y la capacidad de corriente del conductor de acuerdo con la norma IEC 60909, IEEE 242, capítulo 9 o equivalente.

- l. Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción de equipos.
- m. Cálculo y coordinación de protecciones contra sobre corrientes. En baja tensión se permite la coordinación con las características de limitación de corriente de los dispositivos según IEC 60947-2 Anexo A.
- n. Cálculos de canalizaciones (tubo, ductos, canaletas y electroductos) y volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas, etc.).
- o. Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.
- p. Cálculos de regulación.
- q. Clasificación de áreas.
- r. Elaboración de diagramas unifilares.
- s. Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.
- t. Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.
- u. Establecer las distancias de seguridad requeridas.
- v. Justificación técnica de desviación de la NTC 2050 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.
- w. Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas.”

#### **4.1.8 Norma Técnica Colombiana NTC 6072**

La cual suministra los requerimientos mínimos para el ejercicio de los centros de formación y entrenamiento en protección contra caídas. Esta norma es adaptable a todo tipo de centros de formación y entrenamiento en protección contra caídas para trabajo en alturas, con libertad en su naturaleza jurídica. En esta norma se aplica los siguientes términos y las definiciones establecidas en la disposición legal vigente:

1- Centro de formación y entrenamiento en protección contra caídas para trabajo en alturas, esto es un lugar designado para la formación de individuos en trabajo seguro en alturas, que cuenta con infraestructura adecuada para desarrollar o establecer, o ambos, el conocimiento y las destrezas obligatorias para el desempeño del trabajador y la aplicación de las técnicas

concernidas con la utilización de los equipos y la configuración de sistemas de protección contra caídas de altura.

2- Entrenamiento. Para efectos de esta norma, es toda diligencia efectuada en un centro de formación y entrenamiento autorizado, que tiene el propósito de preparar el talento humano, mediante un proceso teórico y práctico, en el cual el participante comprende, asimila, incorpora y aplica conocimientos, habilidades y destrezas.

3- Equipo de entrenamiento. Conjunto de instrumentos, dispositivos, aparatos y elementos destinados para ser utilizados por la persona en entrenamiento, en un ambiente de aprendizaje con riesgos controlados.

4- Equipos de rescate. Conjunto de instrumentos, dispositivos, aparatos, elementos diseñados y destinados para ser utilizados en caso de presentarse una emergencia.

5- Equipo de seguridad. Conjunto de instrumentos, dispositivos, aparatos, elementos destinados para ser utilizados por la persona en entrenamiento para protegerlo de riesgos.

6- Formación. Para efectos de esta norma, es toda actividad realizada en un centro de formación y entrenamiento autorizado, con el fin de preparar el talento humano, mediante un proceso teórico, en el cual el participante comprende, asimila, incorpora y aplica conocimientos.

7- Persona en entrenamiento. Persona que participa en un proceso de formación o entrenamiento o ambos.

#### **4.1.9 Resolución 1178 del 28**

Otra norma es la expedida por el Ministerio de trabajo, bajo la Resolución 1178 del 28 de marzo de 2017, publicada en el Diario Oficial No. 50.198 del 6 de abril de 2017, en la cual se dispusieron los requisitos técnicos y de seguridad para proveedores del servicio de capacitación y entrenamiento en Protección contra Caídas en Trabajo en Alturas.

El Artículo 42. Certificación de calidad. Se centra en la certificación de calidad de los centros de capacitación y entrenamiento debe realizarse ante un organismo certificador debidamente acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia.

Otro punto importante de dicha resolución es que todos los proveedores del servicio de capacitación y entrenamiento en trabajo seguro en alturas deben estar inscritos en el registro al que se refiere los artículos 44 y subsiguientes de la Resolución 1178 de 2017.

#### **4.1.10 Métodos de formación**

Para Bejarano y Moreno (2013), la formación en competencias laborales, es un tema de apogeo dentro del entorno laboral actual en Colombia, debido a su requerimiento legal según la Resolución 1348 de 2009 y las políticas de seguridad de las empresas del sector eléctrico, las cuales cobijan a los sujetos que desempeñan labores especiales o de alto riesgo, como la ejecución de maniobras y mantenimiento de redes eléctricas con tensión. Dichas competencias se refieren a los conocimientos, habilidades y actitudes necesarias para que individuos jóvenes se integren con seguridad y tengan un desempeño eficaz en el mundo laboral. Una metodología para lograr que la formación sea adecuada, se relaciona con el análisis de las etapas que recorre el aprendiz en su proceso pedagógico, donde existen diversas teorías aplicadas.

**Formación empírica:** se basa en la observación, y recibe sustento de los consejos entregados por compañeros de trabajo o jefe directo.

**Formación dirigida:** se basa en información transmitida por un tutor (instructor), usando herramientas pedagógicas como presentaciones, guías, documentación bibliográfica y charlas grupales. El aprendizaje se realiza de manera teórica y la práctica se ejecuta en estructuras desenergizadas. Las evaluaciones son de índole teórico-prácticas y al final de la capacitación se hace un proceso de inmersión del alumno a cuadrillas o grupos de trabajo en campo.

**Formación virtual:** se basa en información disponible en plataformas computacionales, apoyada en el uso de un ordenador, donde se tienen software para utilizar como aplicación de simulación, realidad virtual y multimedia. Se considera un método de autoaprendizaje, con la supervisión y seguimiento de un tutor.

Para conseguir un buen nivel, es necesario que el aspirante a liniero tienen que comenzar a experimentar, y efectuar los conocimientos teóricos, obtenidos en la primera etapa de

formación, donde el sujeto es competente, pero no tiene experiencia suficiente para perfeccionar de manera virtuosa una tarea. En la etapa final, el individuo entrena perseverantemente, para ser competente por su formación y ejecutar sus trabajos de manera eficiente, es decir, por toda su experiencia y práctica, el desarrollo de tareas laborales se vuelve algo automático y rápido. (Bejarano y Moreno, 2013).

## **4.2 Diseño para la construcción e instalación del centro.**

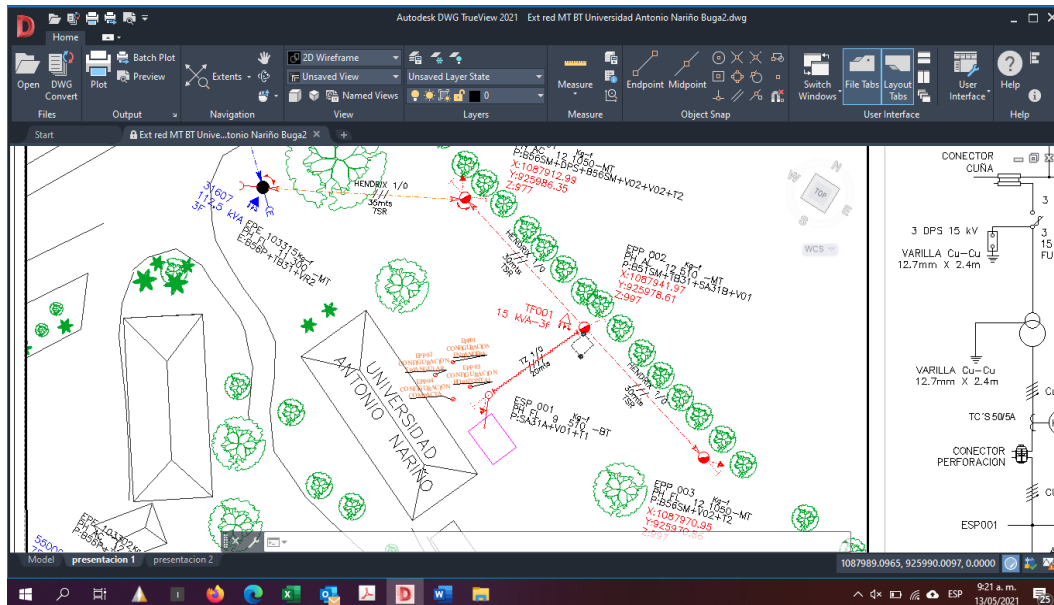
Como el proyecto tendrá un enfoque educativo, en apoyo a la formación de los nuevos profesionales en el área de la ingeniería eléctrica; la aplicación del numeral 10.1 del RETIE para laboratorio de redes eléctricas no tendrá todo el rigor técnico del caso, en lo referente a cálculos eléctricos, mecánicos, detalles constructivos y normativos. El objetivo principal de este capítulo será dar a conocer de manera general como se aplica el numeral 10.1 del RETIE a un diseño de redes eléctricas de distribución .

El diseño del centro de capacitación para liniero constara de 2 etapas las cuales se describen a continuación .

En la primera etapa encontraremos los siguientes elementos , 3 postes de 12 metros de altura ,un poste de 9 metros de altura ,un transformador de 15 kva y cables aislados que conforman las redes del campo más los herrajes necesario para la instalación , este montaje se diseña para que el estudiante pueda realizar el acenso y descenso en el y así realizar la práctica y uso correcto de equipos de altura, como arnés ,líneas de vida ,mosquetones ,eslingas de posicionamiento entre otros , también se podrá realizar el entrenamiento de trabajos en altura, requisito necesario para realizar cualquier trabajo a más de 1,50 según la normatividad vigente.

Para La segunda etapa se instalaran 4 postes enanos con altura no mayor a 1.80mts donde el estudiante podrá observar , analizar y manipular los componentes necesarios para el montaje de las diferentes configuraciones que se requieren en la instalación de las redes de distribución y transmisión de la energía eléctrica , en esta etapa el estudiante realizara el montaje y desmontajes de los siguientes elementos , crucetas metálicas , aisladores de porcelana y de suspensión (poliméricos ) amarre de líneas , tensionado de líneas , montajes de abrazaderas o collarines para la sujeción de las crucetas.

A continuación describiremos las 4 principales estructuras más utilizadas para el montaje de red eléctrica de media tensión y en el cual el estudiante realizara las practicas necesarias para su aprendizaje.



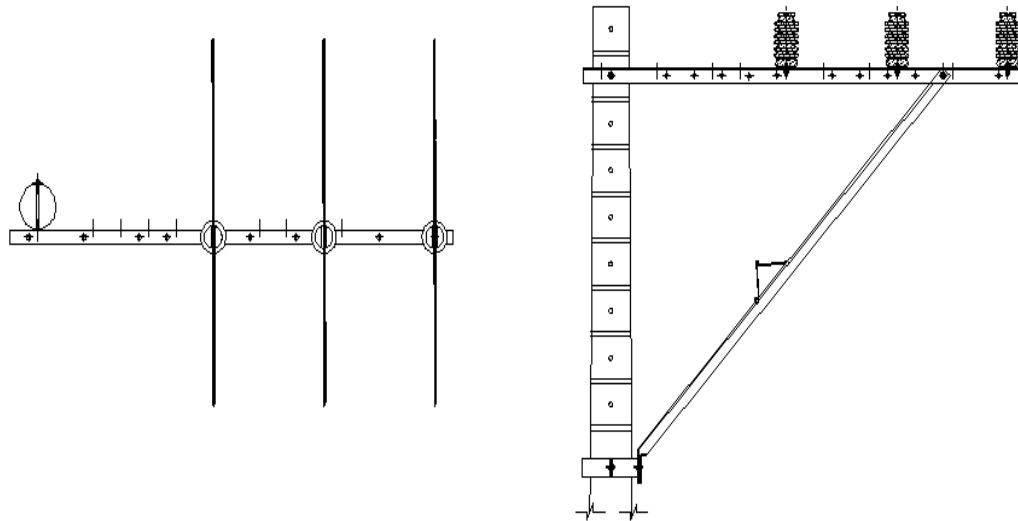
Ver detalle del diseño en el anexo A.

### 4.2.1 Estructura 1 . Configuración en Bandera.

Es aquella en la cual los conductores se instalan a la misma altura sobre el terreno y a un solo lado del eje del poste. Es utilizada para lograr las distancias de seguridad, principalmente en áreas urbanas, por restricciones de espacio, donde algunas fachadas de viviendas se acercan mucho a las redes eléctricas de distribución, es importante esta estructura porque minimiza el riesgo eléctrico de contacto , preservando la vida de seres humanos y animales.

Para este tipo de configuración se utilizara cruceta angular metálica soportada con diagonal, con una longitud de 2,4 m para 13, 2 kV y 3 m para 34,5 kV.

**Figura 4-1** Configuración en bandera



Fuente : Normas de Diseño y Construcción de Redes Eléctricas de Celsia de Colombia S.A

Ver detalle de la estructura en el anexo B.

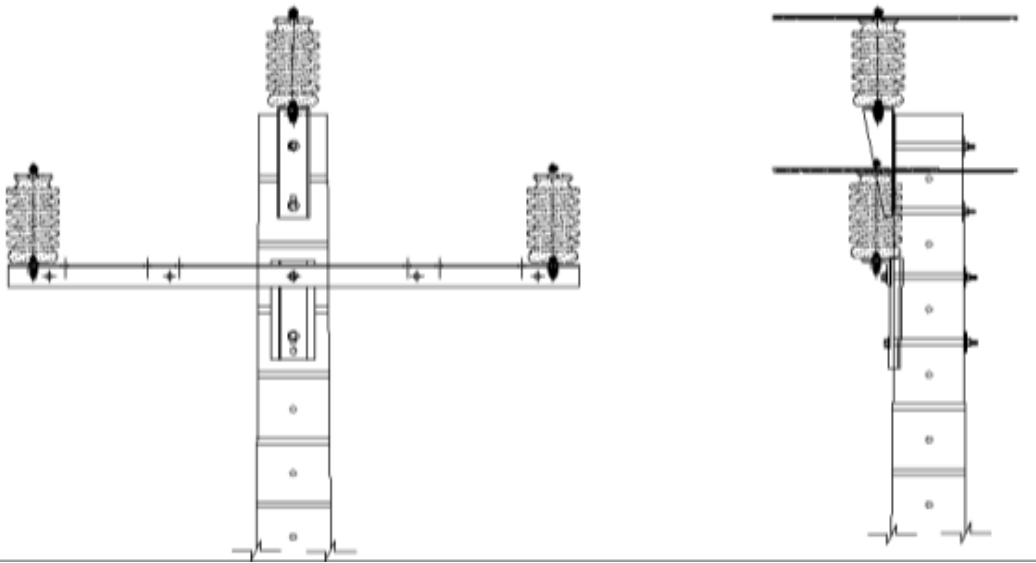
Ver procedimiento de montaje en el anexo .

### 4.2.2 Estructura 2. Configuración Triangular – Compacta vano largo.

Se presenta solamente en líneas trifásicas, cuando dos de los conductores de la línea están instalados a la misma altura y el tercero (central) a una altura superior, formando un triángulo al ser vistos desde un corte transversal. Los conductores están instalados a ambos lados del eje del poste , se aplica necesariamente en zonas rurales donde la topografía del terreno y la alta vegetación requiere que los tramos de red o vanos sean más largos y con cable semiaislados siendo esta estructura ideal para soportar la tensión generada en los conductores.

Para este tipo de configuración se utilizará cruceta angular metálica auto soportada con una longitud de 2,4 m para el nivel de 13,2 y 34,5 kV.

**Figura 4-2** :Configuración Triangular



Fuente : Normas de Diseño y Construcción de Redes Eléctricas de la Celsia de Colombia S.A  
Ver detalles de la estructura en el anexo C.

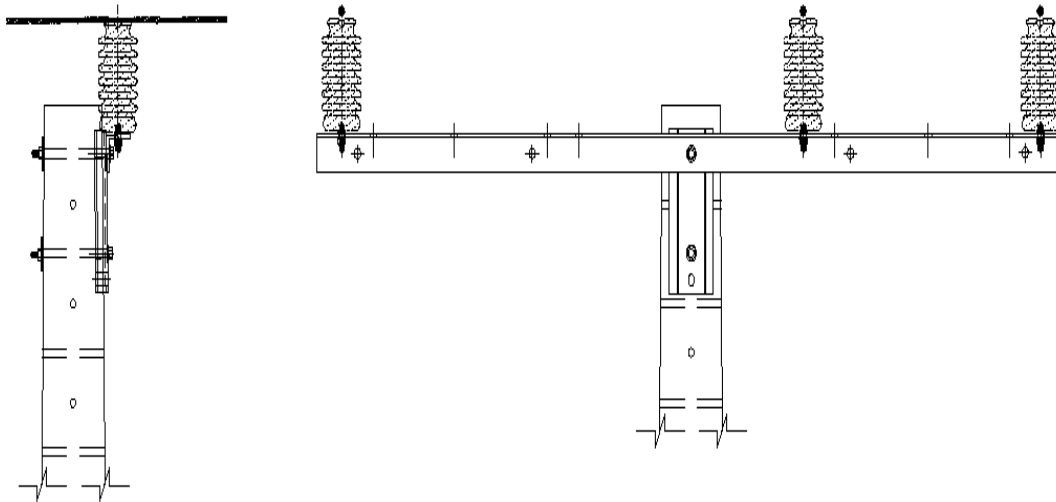
### 4.2.3 Estructura 3. Configuración Horizontal.

Se considera una línea en configuración horizontal cuando los conductores que la conforman están instalados en un mismo plano horizontal, es decir, a la misma altura sobre el nivel del suelo y a ambos lados del eje longitudinal del poste, visto desde la perspectiva de un corte transversal de la línea , esta configuración es bastante utilizada en zonas rurales donde la vegetación es poca y la línea puede ocupar más espacio en su recorrido, por su forma permite ser mas operacional y de mejor manejo para el mantenimiento.

Para este tipo de configuración se utilizará cruceta angular metálica auto soportada con una longitud de 2,4 m para 13,2 kV y 3 m para 34,5 kV para líneas trifásicas y 1,4m para líneas bifásicas. Igualmente para estructuras tipo H la cruceta utilizada será de 4.0 m de longitud.

**Figura 4-3** :Configuración Horizontal





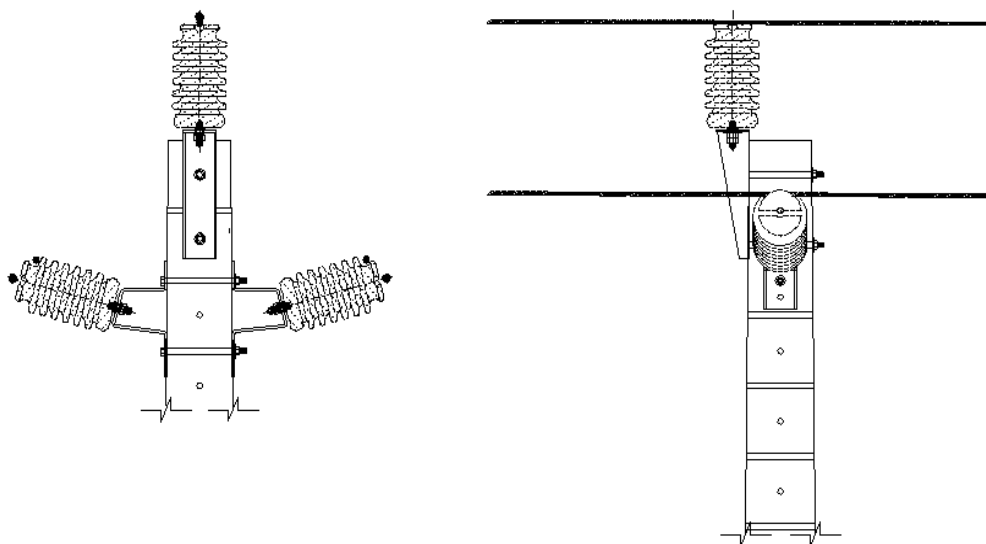
Fuente: Normas de Diseño y Construcción de Redes Eléctricas de la Celsia de Colombia S.A  
Ver detalles de la estructura en el anexo D.

#### 4.2.4 Estructura 4. Configuración Compacta.

Los conductores de la línea están instalados en disposición triangular. Uno de los aisladores va en la punta del poste y los otros dos a ambos lados del mismo. Éstos últimos, en el caso de ángulo hasta  $5^{\circ}$  se instalan sobre soportes y sobre cruceta angular metálica auto soportado de longitud de 1,4 m para el resto de casos.

Este tipo de configuraciones son muy utilizados en centros urbanos ya que minimizan en un porcentaje mayor el riesgo de contacto que pueden tener los conductores con las fachada y techos de las viviendas, es utilizada para soportar cables semiaislados de diferentes calibres.

**Figura 4-4** :Configuración Compacta.



Fuente: Normas de Diseño y Construcción de Redes Eléctricas de la Celsia de Colombia S.A  
Ver detalles de la configuración en el anexo E.

En el caso de querer hacer uso de una red eléctrica existente para alimentar un nuevo proyecto, se debe realizar los trámites respectivos ante el operador de red, para que él autorice la conexión del nuevo proyecto. El proceso inicia cuando el interesado previo el cumplimiento de ciertos requisitos; solicita el punto de conexión al operador de red, y este le responde con un documento llamado factibilidad, el en cual puede aprobar o negar la conexión del proyecto a su red de distribución.

Dependiendo del operador de red Local ante el cual deba solicitarse la factibilidad de un proyecto, así mismo será la profundidad de la información básica que se va a tener para iniciar los cálculos eléctricos del proyecto. Esta circunstancia es debida al hecho de que el operador de red tiene la facultad de certificar (Dar conformidad técnica al Diseño, materiales y construcción de la red eléctrica) sus propias redes eléctricas, por tanto puede exigir mayor o menor rigurosidad en las memorias de cálculo de los diseños de las nuevas redes eléctricas que se le presenten.

Se debe aclarar en este punto que el laboratorio de redes eléctricas que será construido, iniciara solo a partir del apoyo siguiente al punto de conexión, el cual estará ubicado a 43m del nodo 103315.

A continuación se presentaran los 23 puntos contemplados en el capítulo 10, numeral 10.1 del reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE. Se dará una breve descripción del numeral, su importancia y se procederá a su desarrollo.

#### **4.2.5 Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos.**

En este punto se contempla el análisis de las cargas iniciales y futuras, estimadas en el proyecto. Este ítem permite calcular la demanda del proyecto, y por ende permite dimensionar la capacidad del transformador requerido.

El factor de potencia de la carga y los armónicos generados por esta, son críticos en los casos de que se tengan cargas no lineales (cargas con impedancia variable en función de la tensión, donde las formas de onda de la tensión y de la corriente no son las mismas) como hornos de inducción, variadores de velocidad de motores, rectificadores, inversores o Sistemas de Alimentación Ininterrumpida.

Estas cargas generan armónicos que distorsionan la señal eléctrica provocando calentamiento de los devanados del transformador, aumento de la corriente del neutro en cargas monofásicas, e incluso pueden acarrear multas por parte del operador de red local cuando estos armónicos pasan a la red de distribución.

Por el contrario, las cargas convencionales normalmente se tipifican como cargas lineales, ya que al aplicarles una tensión sinusoidal, la corriente conserva la misma forma, y puede estar en fase (cargas resistivas), adelantada (cargas capacitivas) o atrasada (cargas inductivas).

Por normativa de la Universidad Antonio Nariño, por tratarse de un proyecto educativo; el laboratorio de redes eléctricas requiere también destinar un espacio para el almacenaje de equipos y herramientas, un baño y lockers para los estudiantes que van a realizar las prácticas en la red que se va a construir. La carga de diseño del proyecto, serán las redes eléctricas requeridas para este espacio, como se pueden ver en la tabla 4-1.

**Tabla 4-1:** Descripción de las cargas inicial y futura Proyecto red MT/BT Universidad Antonio Nariño sede Buga.

DEMANDA DE CARGA PROYECTADA RED MT/ BT UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO BUGA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	CARGA POR ELEMENTO	CARGA TOTAL POR ELEMENTO	FACTOR DE DEMANDA	CARGA DIVERSIFICADA
	UND	(W)	(VA)	%	(VA)
CARGA INICIAL					
CIRCUITOS ILUMINACION	2,00	1.350	3.000	100%	3.000
CTO TOMAS 120V	2,00	1.350	3.000	100%	3.000
CARGAS FUTURAS					
AIRE ACONDICIONADO SPLIT 12000BTU 208V	2,00	1.700	3.778	100%	3.778

CARGA TOTAL PROYECTADA	9,78 kVA
TRANSFORMADOR SELECCIONADO	15 kVA
% CAPACIDAD TRANSFORMADOR	65,19 %
RESERVA TECNICA TRANSFORMADOR	5,22 kVA

Fuente: Autor.

#### 4.2.6 . Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.

La coordinación de aislamiento, tiene como objeto determinar la distancia de fuga que manejarán los aisladores conectados a las estructuras de M.T. y B.T, que formen parte del proyecto. Estos niveles de aislamiento y de tensión, deben aplicarse para todos los equipos que formen parte del sistema de distribución.

##### A. Aislamiento red media tensión.

El aislamiento de la red de media tensión debe corresponder con los requisitos técnicos expuestos en la norma de red aérea de media tensión sin neutro de EPSA S.A E.S.P, en la cual se contemplan todas las características eléctricas y mecánicas de los aisladores usados (aislador de porcelana tipo poste, aislador de porcelana tipo cadena) para un nivel de tensión de 13200V.

Los niveles de aislamiento para los transformadores de aceite tipo poste deben corresponder con lo indicado en la NTC 836.

El nivel básico de aislamiento a impulso de rayo (BIL) no debe ser inferior a 20 kV.

## B. Aislamiento red baja tensión.

De igual forma, El aislamiento de la red de baja tensión debe corresponder con los requisitos técnicos expuestos en la norma de red aérea de baja tensión sin neutro de EPSA S.A E.S.P, en la cual se contemplan todas las características eléctricas y mecánicas de los aisladores usados (aislador de porcelana tipo carrete) para un nivel de voltaje inferior a 600V.

### 4.2.7 Análisis de cortocircuito y falla a tierra.

En este numeral se calcularán las corrientes de cortocircuito del transformador a instalar, y se analizarán las corrientes de cortocircuito de la Subestación a la que se conectara el Transformador del cual se alimentará el proyecto. Las corrientes de cortocircuito en un punto de la red de distribución serán mayores entre más cerca se encuentre dicho punto de la subestación, por eso es de gran importancia conocer y analizar estas corrientes, para dimensionar adecuadamente los elementos de protección del proyecto y lograr una adecuada coordinación entre la protección de la red de distribución eléctrica existente y las protecciones de la red eléctrica proyectada.

Inicialmente, para calcular la corriente de cortocircuito, en el caso de una falla en bornes secundarios del transformador, referida al primario; se deben aplicar las siguientes ecuaciones:

$$(1) I_{NOMPrimaria} = \frac{kVA}{U_1 * \sqrt{3}}$$

$$(2) I_{NOMSecundaria} = \frac{kVA}{U_2 * \sqrt{3}}$$

$$(3) I_{CCSecundaria} = \frac{I_{NOMSecundaria}}{Z_{CCPU}}$$

$$(4) I_{CCPrimaria} = \frac{I_{CCSecundaria} * U_2}{U_1}$$

Dónde:

INOM Secundaria es la corriente nominal en el secundario del transformador (A)

INOM Primaria es la corriente nominal en el primario del transformador (A)

KVA es la potencia nominal del transformador (VA)

U2 es la tensión de línea en el secundario del transformador (V)

U1 es la tensión de línea en el primario del transformador (V)

ICC Secundaria es la corriente de cortocircuito en el secundario del transformador (A)

ZCCPU es la impedancia de cortocircuito por unidad del transformador

ICC Primaria es la corriente de cortocircuito referida al primario del transformador (A).

Para este proyecto tenemos:

El transformador es trifásico de 15000VA,  $U_1 = 13200V$ ,  $U_2 = 208V$ ,  $ZCCPU = 0.03$ .

Reemplazando en (1), (2), (3) y (4), obtenemos:

INOM Secundaria = 41.68A

INOM Primaria = 0.65A

ICC Secundaria = 1389.5A

ICC Primaria = 21.89A

Para el proyecto el operador de red local es la Empresa Celsia de Colombia S.A; que en las factibilidades entrega la siguiente información: el punto de conexión con sus coordenadas x, y, z, las corrientes de cortocircuito monofásicas ( $ICC_{1\phi}$ ) y trifásicas ( $ICC_{3\phi}$ ), la resistencia de cortocircuito (RCC) y la Reactancia de cortocircuito (XCC), el faseo de la red. La información básica de este proyecto se resume en la tabla 4-2.

**Tabla 4-2:**Datos básicos del punto de conexión

PTO DE CONEXIÓN	
Nodo	103315
subestacion	Paloblanco
Circuito	Paloblanco 8
Coordenadas	X=1087882,8
	Y=925969,5
	Z=977
Faseo (102016-103315)	STR
I <sub>cc1φ</sub> (kA)	3,421
I <sub>cc3φ</sub> (kA)	4,184
X <sub>cc</sub> (Ω)	1882
R <sub>cc</sub> (Ω)	0,685

Fuente: Empresa de Energía del Pacífico EPSA S.A.S

Las corrientes simétricas se usan en el estudio de coordinación de protecciones, y las corrientes asimétricas se utilizan para el diseño del sistema de puesta a tierra SPT. En el caso de no contar con esta información, se puede emplear la ICC<sub>3φ</sub> para obtenerlas.

Para realizar el análisis de cortocircuito existen muchos software específicos como NEPLAN o ETAP, pero estos programas requieren de una licencia que es costosa, y además son programas muy complejos, que son utilizados en proyectos que por su complejidad requieren minuciosidad en el cálculo. En el mercado existe software gratuito que permiten realizar estos cálculos de una manera más versátil y que generan reportes que son sencillos de anexar a las memorias de cálculo. Algunos de estos software son MELSHORT2 de Mitsubishi, LSPS de Lg y ECODIAL de Schneider; estas son herramientas diseñadas por fabricantes de protecciones para baja tensión, con el fin de publicitar las ventajas técnicas de sus productos.

Para el proyecto en mención no se realizara análisis de cortocircuito, por cuanto la red tiene un fin educativo y no funcional.

#### **4.2.8 Análisis de nivel de riesgos por rayos y medidas de protección contra rayos.**

El análisis de riesgo por descargas atmosféricas, es un estudio que se efectúa con el fin de poder definir el nivel de protección en el sistema de protección contra rayos SIPRA, que requerirá la edificación para la cual se está presentando el proyecto de subestación.

El nivel de protección a utilizar será seleccionado bajo el criterio del ingeniero profesional en electrotecnia que realice el proyecto, y se verificará su cumplimiento con la norma IEC 62305 mediante la aplicación de un software.

Se procede a realizar los cálculos con el programa Malla2 que es una aplicación gratuita creada por el Ingeniero Jorge Diego Londoño. La cual, es una herramienta que permite entre otras cosas efectuar el análisis de resistividad por el método de las dos capas, plantear sistemas de puesta a tierra con un solo electrodo de profundidad o con mallas, y permite realizar análisis de riesgo por descargas atmosféricas.

De igual forma, existen otras aplicaciones como la IEC Risk assessment calculator, que también están aprobadas por el operador de red Local (EPSA), pero sea cual sea la aplicación que se utilice, se debe garantizar que su procedimiento de cálculo este basado en la norma IEC 62305

En términos generales, el programa toma los siguientes datos de la estructura:

Dimensionamiento ( ancho, largo, alto), influencia del medio ambiente(localización, entorno, numero de descargas atmosféricas), las líneas de servicios entrantes a la estructura (tipos de acometidas, tipo de cableado, resistividad del terreno) , las medidas de protección existentes (extintores, bajantes, avisos de emergencia), características (tipo de material, tipo de suelo, nivel de ocupación) y define los tipos de perdidas (Humanas, de servicios públicos esenciales, herencia cultural y las económicas).

Ingresando esta información al software, este debe calcular las pérdidas de vida humana, las pérdidas de servicios públicos, las pérdidas de herencia cultural y las pérdidas económicas, con estos valores calcular el riesgo y lo compara con los valores indicados en la norma. Si el riesgo calculado es mayor, para la estructura se requiere un diseño de sistema de protección contra rayos; de lo contrario, significa que la estructura no requiere protección adicional a la existente.



### **4.2.9 Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos (Numeral E del RETIE).**

El uso cada vez más creciente de la electricidad a nivel industrial, comercial y residencial, ha significado el incremento del número de instalaciones eléctricas y con ello el aumento en los accidentes y en los incendios atribuidos a fallas eléctricas. Por estas causas, cada vez se exige más rigurosidad en cuanto a la reglamentación y normalización de las instalaciones eléctricas, teniendo en cuenta que según estudios realizados se requiere que una mínima corriente eléctrica circule por el cuerpo humano durante un tiempo determinado, para causar daños irreversibles en los tejidos, o incluso la muerte.

Cada año el estado, las administradoras de riesgos profesionales y las empresas invierten grandes cantidades de dinero, en la atención de estos accidentes de origen eléctrico; a pesar de que se ha demostrado, que resultaría más rentable invertir en la minimización o eliminación de los riesgos eléctricos.

En el numeral 9 del RETIE se lee: “Esta parte del RETIE tiene como principal objetivo crear conciencia sobre los riesgos existentes en todo lugar que se haga uso de la electricidad o se tengan elementos energizados”.

Para evaluar el grado de riesgo de tipo eléctrico, se debe aplicar el procedimiento indicado en la matriz de análisis de riesgo establecida en el numeral 9.2.1 del RETIE.

“Con el fin de evaluar el nivel o grado de riesgo de tipo eléctrico, se puede aplicar la siguiente matriz para la toma de decisiones (tabla 9.3) de RETIE. La metodología a seguir en un caso particular, es la siguiente.

- a. Definir el factor de riesgo que se requiere evaluar o categorizar.
- b. Definir si el riesgo es potencial o real.
- c. Determinar las consecuencias para las personas, económicas ambientales y de imagen de la empresa. Estimar dependiendo del caso particular que analiza.

- d. Buscar el punto de cruce dentro de la matriz correspondiente a la consecuencia (1, 2, 3, 4 ,5) y a la frecuencia determinada (a, b, c, d, e): esa será la valoración del riesgo para cada clase.
- e. Repetir el proceso para la siguiente clase hasta que cubra todas las posibles pérdidas.
- f. Tomar el punto más crítico de los cuatro puntos de cruce, el cual será la categoría o nivel de riesgo.
- g. Tomar las decisiones o acciones, según lo indicado en la tabla 9.4 de RETIE.

**Tabla 4-3:** Matriz para análisis de riesgo.

RIESGO A EVALUAR		Por _____ (al) o (el) _____								
		EVENTO O EFECTO		FACTOR DE RIESGO (CAUSA)		FUENTE				
POTENCIAL		REAL		FRECUENCIA						
CONSECUENCIAS	En personas	Economicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
	Una o mas muertes. ES	Daño grave en infraestructura. Interrupcion	Contaminación irreparable	Internacional	5	No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la empresa	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación.	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesion menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupcion leve. E2	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
AS	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción	Sin efecto E1	Interna E1	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
EVALUADOR _____		MP _____			FECHA _____					

Fuente: RETIE.

**Tabla 4-4:** Decisiones y acciones para controlar el riesgo

COLOR	NIVEL DE RIESGO	DECISIONES A TOMAR Y CONTROL	PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS
	MUY ALTO	Inadmisible para trabajar. Hay que eliminar fuentes potenciales, hacer reingeniería o minimizarlo y volver a valorarlo en grupo, hasta reducirlo. Requiere permiso especial de trabajo	Buscar procedimientos alternativos si se decide realizar el trabajo. La Alta dirección participa y aprueba el Analisis de Trabajo Seguro (ATS) y autoriza su realización mediante un Permiso Especial de Trabajo (PES).
	ALTO	Minimizarlo: buscar alternativas que presenten menor riesgo. Demostrar como se va a controlar el riesgo, aislar con barreras o distancia, usar EPP. Requiere permiso especial de trabajo	El jefe o supervisor de area involucrado, aprobara el Analisis de Trabajo Seguro (ATS) y el Permiso de Trabajo (PT) presentados por el lider a cargo del trabajo
	MEDIO	Aceptarlo: aplicar los sistemas de control (minimizar, aislar, suministrar EPP, procedimientos, protocolos, lista de verificación, usar EPP). Requiere permiso especial de trabajo	El lider del grupo de trabajo diligencia el Analisis de Trabajo Seguro (ATS) y el jefe de area aprueba el Permiso de Trabajo (PT) según procedimiento establecido
	BAJO	Asumirlo: Hacer control administrativo rutinario. Seguir los procedimientos establecidos. Utilizar EPP. No requiere permiso especial de trabajo	El lider de trabajo debe verificar: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué puede salir mal o fallar?.</li> <li>• ¿Qué puede causar que algo salga mal o falle?.</li> <li>• ¿Qué podemos hacer para evitar que algo salga mal o falle?.</li> </ul>
	MUY BAJO	Vigilar posibles cambios	No afecta la secuencia de las actividades

Fuente: RETIE.

El objeto de esta tesis es la construcción de red de Media Tensión, Instalación de transformador y construcción de red de baja Tensión, que servirá de laboratorio de redes eléctricas en la Universidad Antonio Nariño sede Buga. Por tanto se procede a aplicar la matriz de riesgos a este proyecto.

Solo se hará el análisis de factor de riesgo por rayos, para documentar el procedimiento.

**Factor de riesgo por rayos.**

Este se tiene en cuenta como un riesgo potencial, ya que una descarga atmosférica es un evento fortuito, pero que puede causar la muerte. No obstante, en el sector no hay registro de personal que haya muerto por el impacto de una descarga atmosférica; ya que por norma, todas las actividades en las redes eléctricas deben suspenderse rápidamente en presencia de lluvia o de descargas atmosféricas. Por tal razón la afectación por el impacto de una descarga atmosférica en las personas que participan en la construcción de la red eléctrica tiene un nivel de riesgo medio (Tabla 4-5).

**Tabla 4-5:** Factor de riesgo medio por rayos

RIESGO A EVALUAR		Quemaduras, electrocución		Por		Rayos		(al) o (el)		Descargas Atmosfericas	
		EVENTO O EFECTO		FACTOR DE RIESGO		(CAUSA)		FUENTE			
POTENCIAL		REAL		FRECUENCIA							
CONSECUENCIAS	En personas	Economicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A	
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la empresa	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa	
	Una o mas muertes ES	Daño grave en infraestructura. Interrupción	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO	
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación.	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO	
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción leve. E2	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción	Sin efecto E1	Interna E1	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO		
EVALUADOR		MP				FECHA					

Fuente: RETIE

El impacto de un rayo en la red eléctrica puede ocasionar daños severos en la estructura y provocar interrupciones en su construcción, sin embargo la caída de un rayo en una zona urbana es poco probable, por la presencia de la infraestructura eléctrica en las ciudades. Por tal razón la afectación económica de la caída de un rayo en la red eléctrica en construcción tiene un nivel de riesgo bajo (Tabla 4-6).

Tabla 4-6: Factor de riesgo bajo por impacto de rayo

RIESGO A EVALUAR		Quemaduras, electrocución		Por		Rayos		(al) o (el)		Descargas Atmosfericas	
		EVENTO O EFECTO		FACTOR DE RIESGO		(CAUSA)		FUENTE			
POTENCIAL		REAL		FRECUENCIA							
CONSECUENCIAS	En personas	Economicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A	
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la empresa	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa	
	Una o mas muertes ES	Daño grave en infraestructura. Interrupción	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO	
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación.	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO	
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción leve. E2	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción	Sin efecto E1	Interna E1	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO		
EVALUADOR		MP				FECHA					

Fuente: RETIE

El impacto de un rayo en la red eléctrica a construir, no tiene afectación ambiental, por cuanto es un evento natural. De igual forma como se dijo anteriormente, la probabilidad de que un rayo impacte en una zona urbana es poco probable. Por tal razón la afectación ambiental por el impacto de un rayo en la red eléctrica en construcción tiene un nivel de riesgo muy bajo (ver Tabla 4-7).

**Tabla 4-7:** Factor de riesgo ambiental muy bajo por impacto de rayo.

RIESGO A EVALUAR		Quemaduras, electrocución		Por		Rayos		(al) o (el)		Descargas Atmosféricas	
		EVENTO O EFECTO		FACTOR DE RIESGO		(CAUSA)		FUENTE			
POTENCIAL		X		REAL		FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	En personas	Economicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A	
	Una o mas muertes. ES	Daño grave en infraestructura. Interrupcion	Contaminacion improbable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO	No ha ocurrido en el sector
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación.	Contaminacion mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO	Ha ocurrido en el sector
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupcion temporal	Contaminacion local	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	Ha ocurrido en la empresa
	Lesion menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupcion leve. E2	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	Sucede varias veces al año en la empresa
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupcion	Sin efecto E1	Interna E1	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	Sucede varias veces al mes en la empresa
EVALUADOR _____		MP _____		FECHA _____							

Fuente: RETIE.

El impacto de un rayo en la red eléctrica a construir, afectaría internamente a la empresa por los costos que deberá asumir en caso de algún daño, De igual forma como se dijo anteriormente, la posibilidad de que un rayo caiga en una zona urbana es muy baja (poco probable). Por tal razón la afectación en la imagen de la empresa por el impacto de un rayo en la red eléctrica en construcción tiene un nivel de riesgo muy bajo (Ver Tabla 4-8).

**Tabla 4-8:** Factor de riesgo en construcción muy bajo.

RIESGO A EVALUAR	Quemaduras, electrocución				Por	Rayos		(al) o (el)	Descargas Atmosfericas Sistema de puesta a tierra	
	EVENTO O EFECTO				FACTOR DE RIESGO		(CAUSA)		FUENTE	
POTENCIAL	<input checked="" type="checkbox"/>				REAL	<input type="checkbox"/>				
C O N S E C U E N C I A S	En personas	Economicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
	Una o mas muertes. ES	Daño grave en infraestructura. Interrupcion	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación.	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesion menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupcion leve. E2	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción	Sin efecto E1	Interna E1	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
EVALUADOR		MP			FECHA					

Fuente: RETIE

Luego de establecer la matriz de análisis de riesgo, para el factor de riesgo por rayos, de todos los niveles de riesgo obtenidos, tomamos el caso más crítico que en este caso, corresponde a la afectación de las personas. Concluimos entonces que el impacto de una descarga atmosférica tiene un nivel de riesgo medio para el proyecto, lo cual se puede ver en la tabla (ver tabla 4-9).

Tabla 4-9: Factor de riesgo por impacto medio

RIESGO A EVALUAR	Quemaduras, electrocución				Por	Rayos		(al) o (el)	Descargas Atmosfericas Sistema de puesta a tierra	
	EVENTO O EFECTO				FACTOR DE RIESGO		(CAUSA)		FUENTE	
POTENCIAL	<input checked="" type="checkbox"/>				REAL	<input type="checkbox"/>				
C O N S E C U E N C I A S	En personas	Economicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
	Una o mas muertes. ES	Daño grave en infraestructura. Interrupcion	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación.	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesion menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupcion leve. E2	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción	Sin efecto E1	Interna E1	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
EVALUADOR		MP			FECHA					

Fuente: RETIE

De acuerdo a la matriz de análisis de riesgos (tabla 4-9), el nivel de riesgo por electrocución y quemaduras por rayo, es medio, para la construcción de red de Media Tensión, Instalación de transformador y construcción de red de baja Tensión. Conforme a la tabla 9-4 del RETIE, las acciones y decisiones a tomar se pueden ver en la tabla(ver tabla 4-10).

**Tabla 4-10:** Acciones y decisiones sobre factor de riesgo

FACTOR DE RIESGO	EVENTO O EFECTO	FUENTE	NIVEL DE RIESGO	DECISIONES Y CONTROLES A TOMAR	ACCIONES DE MITIGACION
Rayos	Electrocución Quemaduras	Descargas atmosféricas	MEDIO	Aceptarlo y aplicar los sistemas de control. Requiere permiso especial de trabajo	Suspension de toda actividad en la red en presencia de lluvia o descargas atmosféricas

Fuente: Diseño del autor.

Cada valoración del factor de riesgo deberá describir las diferentes medidas que se tomarán, en el proyecto, con el fin de reducir el riesgo eléctrico.

El estudio debe ser realizado por un profesional que deberá firmar en la parte inferior izquierda, en la casilla EVALUADOR, y deberá dejar registro de su matrícula profesional vigente. Esto aplica para cada uno de los factores de riesgo a los que se le aplique la matriz de análisis de riesgo.

#### 4.2.10 Análisis de nivel de tensión requerido

Como se indicó en la introducción de este capítulo, la ubicación geográfica del proyecto determina el operador de red Local ante el cual hay que realizar los trámites para la aprobación del proyecto.

El nivel de tensión en Media Tensión, será el indicado por el operador de red en la respectiva factibilidad del servicio.

En el caso del laboratorio de redes eléctricas de la Universidad Antonio Nariño, la empresa de energía del Pacífico EPSA E.S.P (ORL), en la red de distribución nivel 2 maneja una tensión primaria de 13.200V.

En el caso de la baja tensión (lado secundario del transformador de distribución), la tensión de servicio de la instalación está determinada por las características de los equipos a instalar. En

la tabla# del numeral 1, se definen las cargas que se van a alimentar y las tensiones de operación de dichas cargas.

Con esta información podemos determinar que el transformador que se instale, debe manejar las siguientes relaciones de tensión 13200V (primario)/208/120V (secundario). Esta es una de las relaciones de voltaje que EPSA tiene estandarizada en su norma, para los transformadores trifásicos de distribución.

#### **4.2.11 Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas, no se superen los límites de exposición definidos en la Tabla 14.1 del RETIE. (Numeral G del RETIE).**

El capítulo 14 del RETIE define así los campos electromagnéticos:

El campo electromagnético es una modificación del espacio debida a la interacción de fuerzas eléctricas y magnéticas simultáneamente, producidas por un campo eléctrico y uno magnético que varían en el tiempo, por lo que se le conoce como campo electromagnético variable. Es producido por diferencias de potencial y cargas eléctricas en movimiento y tiene la misma frecuencia de la corriente eléctrica que lo produce. Se ha demostrado que los campos electromagnéticos de bajas frecuencias (0 a 300Hz) no producen efectos nocivos en los seres vivos. Las instalaciones del sistema eléctrico a 60 Hz producen campos electromagnéticos a esta frecuencia, lo que permite medir o calcular el campo eléctrico y el campo magnético en forma independiente.

La anterior definición permite aclarar por qué en las líneas de transmisión se generan estos campos electromagnéticos a una frecuencia de 60Hz. Como actualmente las líneas eléctricas de transmisión están ubicadas tanto en zonas rurales como urbanas, estos campos electromagnéticos hacen presencia en la mayor parte de nuestro entorno. Por esta razón, es de gran interés para la comunidad científica y técnica y para algunos sectores gubernamentales analizar los efectos de estos campos electromagnéticos sobre las personas y equipos eléctricos y electrónicos asociados a la interacción directa con ellos. Este interés se ha reflejado en la ejecución de múltiples investigaciones y la expedición de normas que establecen los límites de exposición a estos campos electromagnéticos. Al respecto, el reglamento técnico



de Instalaciones eléctricas RETIE, define también los valores límites de exposición a estos campos en el punto 14.3 valores límites de exposición a campos electromagnéticos.

Para el caso de las instalaciones objeto de este reglamento, las personas que por sus actividades están expuestas a campos electromagnéticos o el público en general, no debe ser sometido a campos que superen los valores establecidos en la Tabla 14.1 de RETIE.

**Tabla 4-11:** Valores límites de exposición a campos electromagnéticos.

TIPO DE EXPOSICIÓN	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO(kV/m)	DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO ( $\mu$ T)
Exposición ocupacional en un día de trabajo de ocho horas.	8,3	1000
Exposición del público en general hasta ocho horas continuas	4,16	200

Fuente: RETIE.

Nota: La población expuesta ocupacionalmente consiste de adultos que generalmente están expuestos a campos electromagnéticos bajo condiciones conocidas y que son entrenados para estar conscientes del riesgo potencial y para tomar las protecciones adecuadas. En contraste, el público en general comprende individuos de todas las edades y de estados de salud variables, y puede incluir grupos o individuos particularmente susceptibles. En muchos casos no están conscientes de sus exposición a los CEM."

Ahora se realizará el punto 14.4, del RETIE: Cálculo y medición de campos electromagnéticos: Los diseños de líneas o subestaciones de tensión superior a 57,5 kV, en zonas donde se tengan en las cercanías edificaciones ya construidas, deben incluir un análisis del campo electromagnético en los lugares donde se vaya a tener la presencia de personas".

El laboratorio de redes eléctricas de la Universidad Antonio Nariño, comprende la construcción de una línea primaria trifásica a 13.2 KV, la instalación de un transformador trifásico de 15 kVA (a 13.2 Kv), así como la extensión de una red secundaria aérea (208/120V).

Según lo anteriormente expuesto, para el proyecto objeto de este documento, no se requiere realizar cálculo de campos electromagnéticos.

### 4.2.12 Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.

El numeral 1 además de presentar las cargas iniciales y futuras, que se van a instalar en el proyecto, permite definir la capacidad del transformador que se requiere instalar. La carga total proyectada es de 9,78kVA, y los equipos a instalar son trifásicos; razón por la cual se opta por la selección de un transformador con las siguientes especificaciones técnicas.

**Tabla 4-12** Especificaciones técnicas del Transformador a instalar.

Descripción	Unidades	Valor
Potencia	kVA	15
Tensiones	V	13200
		208/120
Trifásico/ Monofásico	TRIFÁSICO	
Aislante	Aceite Mineral	
Tipo de transformador	CONVENCIONAL	
Grupo de conexión	DY5n	
Temperatura de devanados	°C	65
Temperatura del aceite	°C	60
BIL	kV	95/30

Conforme a lo anterior se tendrá un transformador trifásico de 15kVA, que estará al 65,19% de su capacidad, y tendrá una reserva técnica de 5,22 kVA.

### 4.2.13 Cálculo del sistema de puesta a tierra.

El artículo 15 del reglamento de instalaciones eléctricas contiene todos los requerimientos para el cálculo del sistema de puesta a tierra (SPT), dice

Toda instalación eléctrica que le aplique el RETIE, excepto donde se indique expresamente lo contrario, tiene que disponer de un Sistema de Puesta a Tierra

(SPT), para evitar que personas en contacto con la misma, tanto en el interior como en el exterior, queden sometidas a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla.

La exigencia de puestas a tierra para instalaciones eléctricas cubre el sistema eléctrico como tal y los apoyos o estructuras metálicas que ante una sobretensión temporal, puedan desencadenar una falla permanente a frecuencia industrial, entre la estructura puesta a tierra y la red. Los objetivos de un sistema de puesta a tierra (SPT) son: La seguridad de las personas, la protección de las instalaciones y la compatibilidad electromagnética. Las funciones de un sistema de puesta a tierra son:

- a. Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
- b. Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
- c. Servir de referencia común al sistema eléctrico.
- d. Conducir y disipar con suficiente capacidad las corrientes de falla, electrostática y de rayo.
- e. Transmitir señales de RF en onda media y larga.
- f. Realizar una conexión de baja resistencia con la tierra y con puntos de referencia de los equipos.

Se debe tener presente que el criterio fundamental para garantizar la seguridad de los seres humanos, es la máxima energía eléctrica que pueden soportar, debida a las tensiones de paso, de contacto o transferidas y no el valor de resistencia de puesta a tierra tomado aisladamente. Sin embargo, un bajo valor de la resistencia de puesta a tierra es siempre deseable para disminuir la máxima elevación de potencial o GPR (Ground Potential Rise).

En cuanto al procedimiento empleado para el cálculo del sistema de puesta a tierra, se debe cumplir con lo indicado en la Norma IEEE std 80 2000 “Guide for Safety in AC Substation Grounding”

El punto de inicio para el cálculo del sistema de puesta a tierra, es el valor de la resistividad del terreno en donde se va a construir la red eléctrica de Media y Baja tensión. Para este proyecto, el predio corresponde a la Universidad Antonio Nariño sede Buga, que se ubica en las afueras de la ciudad de Buga, en la vía que comunica hacia la ciudad de Tuluá.

El objetivo de la medida de la resistividad del suelo, es obtener un modelo que sea una buena aproximación de las condiciones del mismo. Los modelos más usados en las aplicaciones de sistemas de puesta a tierra son el modelo de resistividad uniforme y el modelo de las dos capas.

El modelo de dos capas, consiste en modelar el suelo mediante una capa superior de profundidad finita  $h$  y resistividad  $\rho_1$ , sobre otra de profundidad infinita y de resistividad  $\rho_2$ . Este modelo es una buena aproximación a la estructura real del suelo para aplicaciones de sistema de puesta a tierra, ya que en la mayoría de los casos es suelo no es uniforme.

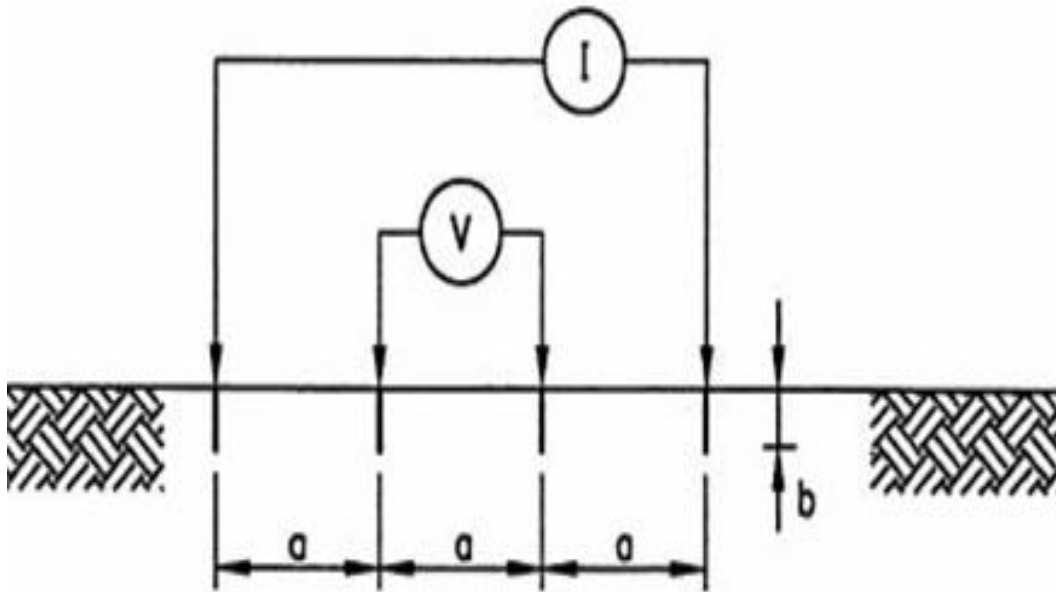
Para aplicar el método de las dos capas, la resistividad aparente del suelo, debe ser medida usando el método de Wenner. EPM en sus Normas Técnicas - Medida de resistividad Eléctrica del Suelo (RA6-014), indica:

#### “5.1.1. Método de Wenner

El método de los cuatro puntos de Wenner es el método más preciso y popular. Son razones para esto que: el método obtiene la resistividad del suelo para capas profundas sin enterrar los electrodos a dichas profundidades; no es necesario un equipo pesado para realizar las medidas; los resultados no son afectados por la resistencia de los electrodos auxiliares o los huecos creados para hincarlos en el terreno.

El método consiste en enterrar pequeños electrodos tipo varilla, en cuatro huecos en el suelo, a una profundidad “ $b$ ” y espaciados (en línea recta) una distancia “ $a$ ” cómo se ilustra en la figura 4-5.

**Figura 4-5:** Método de medición



Fuente: Normas Técnicas - Medida de resistividad Eléctrica del Suelo (RA6-014).

Una corriente “I” se inyecta entre los dos electrodos externos y el potencial “V” entre los dos electrodos internos es medido por el instrumento. El instrumento mide la resistencia  $R (=V/I)$  del volumen de suelo cilíndrico de radio “a” encerrado entre los electrodos internos. La resistividad aparente del suelo  $\rho$ , a la profundidad “a” es aproximada por la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{4\pi Ra}{\left[1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2+4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2+4b^2}}\right]}$$

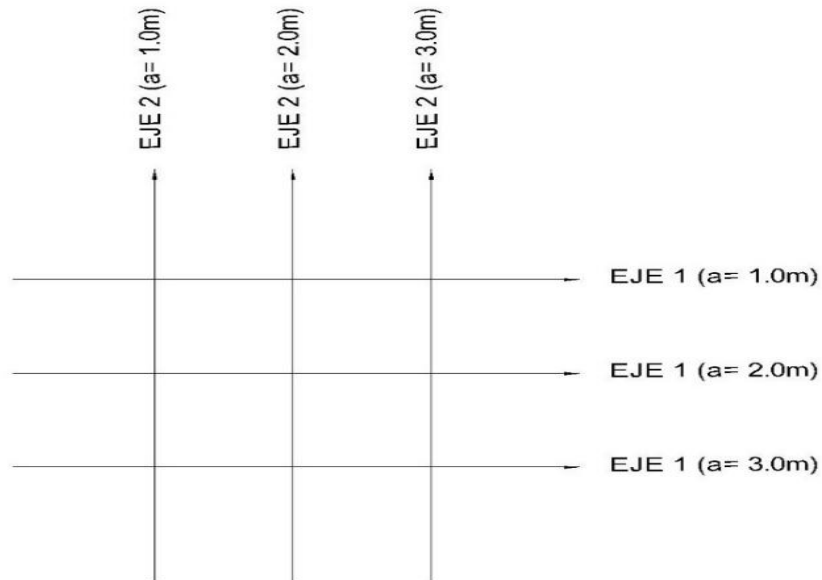
Dado que en la práctica la distancia “a” es mucho mayor que la profundidad de enterramiento “b”, la ecuación se simplifica de la siguiente manera:

$$\rho = 2\pi Ra$$

Para determinar el cambio de la resistividad del suelo con la profundidad, el espaciamiento entre electrodos se varía desde unos pocos metros hasta un espaciamiento igual o mayor que la máxima dimensión esperada del sistema de puesta a tierra (por ejemplo, la mayor distancia posible entre 2 puntos de una malla, o la profundidad de las varillas). El espaciamiento “a” del electrodo se interpreta como la profundidad aproximada a la cual se lee la resistividad del suelo. Para caracterizar la variación de la resistividad del suelo dentro de un área específica, se deben realizar varios grupos de medidas (perfiles) en diferentes direcciones.

Aplicando el procedimiento anterior en la medición de resistividad; se definen dos ejes, uno perpendicular al otro y en cada eje se toman mediciones con separación de los electrodos(a) de 1, 2 y 3 m, tal y como se indica en la figura 4-6:

**Figura 4-6:** Medidas de resistividad.



Fuente: Diseño del autor.

Las medidas de resistividad se tomaron con el Teluro metro MI 3123 Smartec Earth/Clamp de la marca METREL. A continuación se presenta el registro fotográfico del procedimiento.

**Figura 4-7:** Registro fotográfico 1



Fuente: Autor.

**Figura 4-8:** Registro fotográfico 2



Fuente: Autor.

**Figura 4-9:** Registro fotográfico 3: Telurómetro MI 3123 SmartecEarth/Clamp de la marca METREL



Fuente: Autor.

**Figura 4-10:** Registro fotográfico 4, datos



Fuente: Autor.

Los datos tomados en terreno se tabulan, tal y como se muestra en la tabla 4-13, a continuación:

**Tabla 4-13:** Datos obtenidos

	a (m)	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )
Eje 1	1	8
	2	11,6
	3	9,7
	a (m)	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )
Eje 2	1	8,6
	2	16,,8
	3	14,8

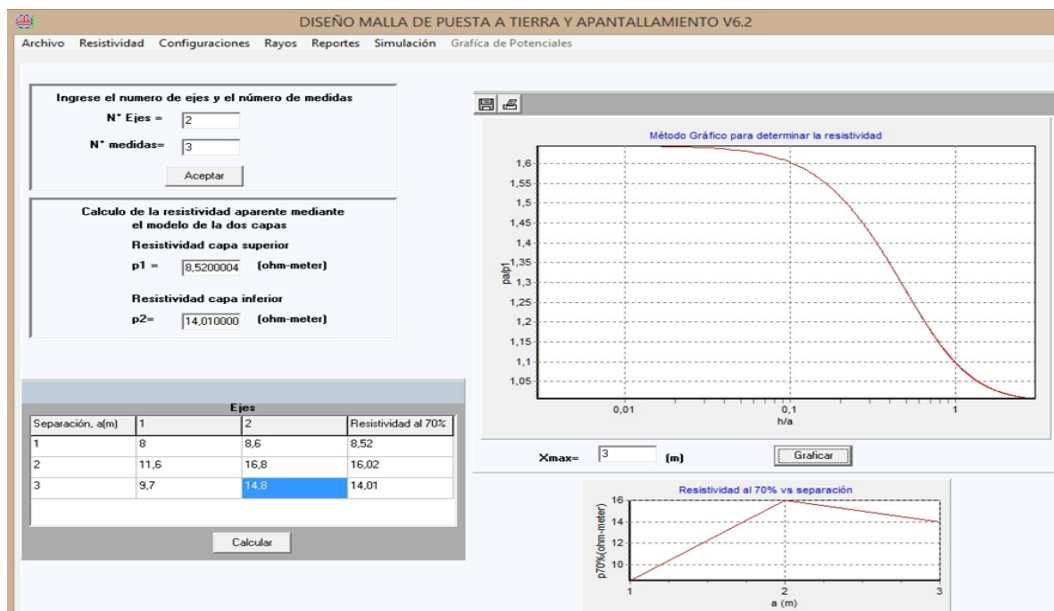
Fuente: Autor.

Después de lo anterior, se procedieron a realizar los cálculos con el programa Malla2 que es una aplicación gratuita creada por el Ing. Jorge Diego Londoño, que está basada en la ANSI/IEEE std 80-2000, y en la cual se aplican: las medidas de resistividad del terreno



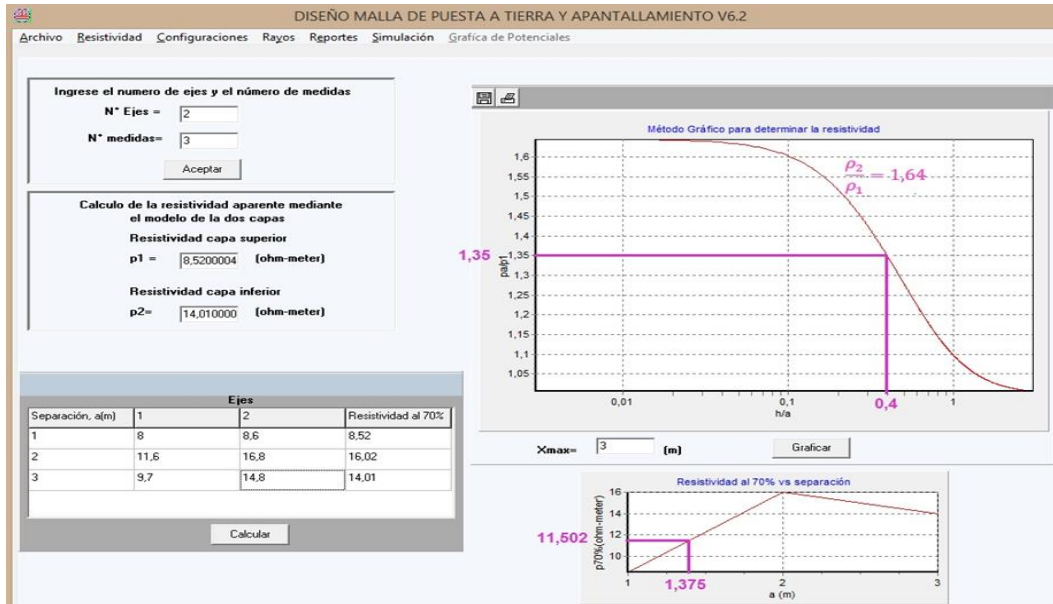
obtenidas aplicando el método Wenner, el modelo de resistividad de las dos capas, y el método grafico aproximado de Sunde (Figura 4-11).

**Figura 4-11:** Modelación de resistividad de las dos capas.



Fuente: Autor.

Usando la metodología indicada en la ANSI/IEEE std 80-2000 numeral 13.4.2.2, se modela el terreno mediante el cálculo de las resistividades  $p1$  y  $p2$ , y el ancho  $h$  de la capa superficial, aplicando el método grafico aproximado de Sunde (Figura 4-21).

Figura 4-12: Modelación de las resistividades  $\rho_1$  y  $\rho_2$ 

Fuente: Autor.

De la figura 4-12, se pueden ver los siguientes valores:

$$\rho_1 = 8,52\Omega\text{m.}$$

$$\rho_2 = 14,01\Omega\text{m.}$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = 1,64$$

$$\rho_a = 1,35 * \rho_1 = 11,502\Omega\text{m.}$$

$$h = 0,4 * a = 0,55\text{m}$$

Se obtiene  $\rho_1 = 8.52\Omega/\text{m}$ ,  $\rho_2 = 14.01\Omega/\text{m}$  y  $h = 0,55\text{m}$ .

La IEEE std 80-2000, recomienda que la primera capa donde se instale el sistema de puesta a tierra debe tener una resistividad elevada ( $\rho_s$ ), y debe tener una profundidad ( $h_s$ ) de entre 0.08 y 0.15m. Este material además de mejorar la resistividad, protege las capas inferiores del terreno. Con esta información se procede a elaborar los cálculos para el SPT del proyecto laboratorio de redes eléctricas de la Universidad Antonio Nariño. El programa malla2 también permite diseñar SPT consistente en un solo electrodo de profundidad, o igualmente configuraciones de SPT en malla.

Para efectos didácticos se procederá a hacer todo el procedimiento de los cálculos del sistema de puesta a tierra (Malla), según lo indicado por la ANSI/IEEE std 80-2000.

Procedemos a definir los datos de entrada para el cálculo del sistema de puesta a tierra y se procederá inicialmente se procede con el cálculo del calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra (Amm<sup>2</sup>).

$\rho$ = resistividad aparente (11,502 $\Omega$ m).

$\rho_s$ = resistividad de la capa superficial (3000 $\Omega$ m-piedra picada o gravilla).

$h_s$ = Espesor capa superficial (0.12m).

$I$ = Corriente de falla a tierra suministrada por el operador de red local (4,184kA).

$t_C$ = Tiempo de despeje de la falla a tierra (0.15s).

$$A_{mm^2} = \frac{I * K_f * \sqrt{t_C}}{1,9737}$$

Dónde:

$K_f$ es la constante de la tabla 15.3, para diferentes materiales y valores de  $T_m$ . Para el proyecto se usara cobre duro con conector mecánico ( $K_f=11,78$ ).

**Tabla 4-14:** Constantes de materiales de la norma IEEE 80

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD (%)	$T_m$ (°C)	$K_f$
Cobre blando	100	1083	7
Cobre duro cuando se utiliza soldadura exotérmica.	97	1084	7,06
Cobre duro cuando se utiliza conector mecánico.	97	250	11,78
Alambre de acero recubierto de cobre	40	1084	10,45
Alambre de acero recubierto de cobre	30	1084	14,64
Varilla de acero recubierta de cobre	20	1084	14,64
Aluminio grado EC	61	657	12,12
Aleación de aluminio 5005	53,5	652	12,41
Aleación de aluminio 6201	52,5	654	12,47
Alambre de acero recubierto de aluminio	20,3	657	17,2
Acero 1020	10,8	1510	15,95
Varilla de acero recubierta en acero inoxidable	9,8	1400	14,72
Varilla de acero con baño de cinc (galvanizado)	8,5	419	28,96
Acero inoxidable 304	2,4	1400	30,05

Fuente: Norma IEEE 80

$$A_{\text{mm}^2} = \frac{4,1766 * 11,78 * \sqrt{0,15}}{1,9737}$$

$A_{\text{mm}^2}=9,65$ .

Por norma se define que el área mínima especificada para el conductor del electrodo de puesta a tierra es 67,44 mm<sup>2</sup>, que corresponde al conductor Cu #2/0.

Ahora se calculan las tensiones de paso y de contacto tolerables para una persona de 50Kg. Como en el sistema de puesta a tierra se va a instalar una capa superficial de piedra picada o gravilla, hay que calcular el factor de reducción  $C_S$ .

$$C_S = 1 - \frac{0,09 * \left[1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right]}{2 * h_s - 0,09}$$

$$C_S = 1 - \frac{0,09 * \left[1 - \frac{11,502}{3000}\right]}{2 * 0,12 - 0,09}$$

$C_S=0,4$ .

Entonces para la tensión de paso tolerable  $E_P$ , tenemos:

$$E_{P50} = \frac{(1000 + 6 * C_S * \rho_s) * 0,116}{\sqrt{t_c}}$$

$$E_{P50} = \frac{(1000 + 6 * 0,4 * 3000) * 0,116}{\sqrt{0,15}}$$

$E_{P50}=2455,98A$ .

De igual forma para la tensión de contacto  $E_C$ , tenemos:

$$E_{C50} = \frac{(1000 + 1,5 * C_S * \rho_s) * 0,116}{\sqrt{t_c}}$$

$$E_{C50} = \frac{(1000 + 1,5 * 0,4 * 3000) * 0,116}{\sqrt{0,15}}$$

$E_{C50}= 838,62A$ .

Se procede ahora a definir los criterios básicos del diseño de la malla, como el largo, el número de retículas, espaciamiento entre conductores de la malla, número de electrodos, cantidad de conductores y profundidad de enterramiento de la malla. Se valida el valor de la resistencia de puesta a tierra obtenida, se calculan las tensiones de paso y contactos generadas por la malla, y se evalúan que estén por debajo de los valores tolerables. En la figura 4-13, se muestra un esquema de la malla de puesta a tierra sugerida.

**Figura 4-13:** Esquema de malla a puesta tierra



Fuente: Autor

A= Longitud de la malla (3m).

B= Ancho de la malla (3m)

n= número de conductores en paralelo de longitud A (2).

m= número de conductores en paralelo de longitud B (2).

D= espaciamiento entre conductores (ancho de la retícula) (3m).

H= profundidad de enterramiento de la malla (0.6m).

d= diámetro del conductor 2/0 (0.01587m)

N= número de electrodos (2).

LV=Longitud del electrodo (2,44m).

La longitud del conductor  $L_C$  es:

$$L_C = n * A + m * B$$

$$L_C = 2 * 3 + 2 * 3$$

$$L_C = 12m.$$

La longitud total del conductor  $L_t$ , incluidos los electrodos es:

$$L_T = L_C + N * L_V$$

$$L_T = 12 + 2 * 2,44$$

$$L_t = 16,88m.$$

Resistencia de la malla de puesta a tierra ( $R_g$ ), el cual aplica para mallas enterradas a una profundidad de 0,25 m a 2,5 m, es:

$$R_g = \rho * \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20 * A_m}} + \left( 1 + \frac{1}{1 + h * \sqrt{\frac{20}{A_m}}} \right) \right]$$

Donde  $A_m$  es el área de la malla ( $9m^2$ ).

$$R_g = 11,502 * \left[ \frac{1}{16,88} + \frac{1}{\sqrt{20 * 9}} + \left( 1 + \frac{1}{1 + 0,6 * \sqrt{\frac{20}{9}}} \right) \right]$$

$$R_g = 1,991\Omega.$$

Si  $R_g \approx 10\Omega$ , se debe cambiar la distribución de la malla e iniciar nuevamente los cálculos.

Ahora se procede a calcular el GPR (Gradiente Potencial Risk):

$$GPR = I_g * R_g$$

Donde  $I_g$  es la máxima corriente que circulara entre la malla y la tierra alrededor, en el momento de una falla.

$$I_g = I_{cc} * S_f$$

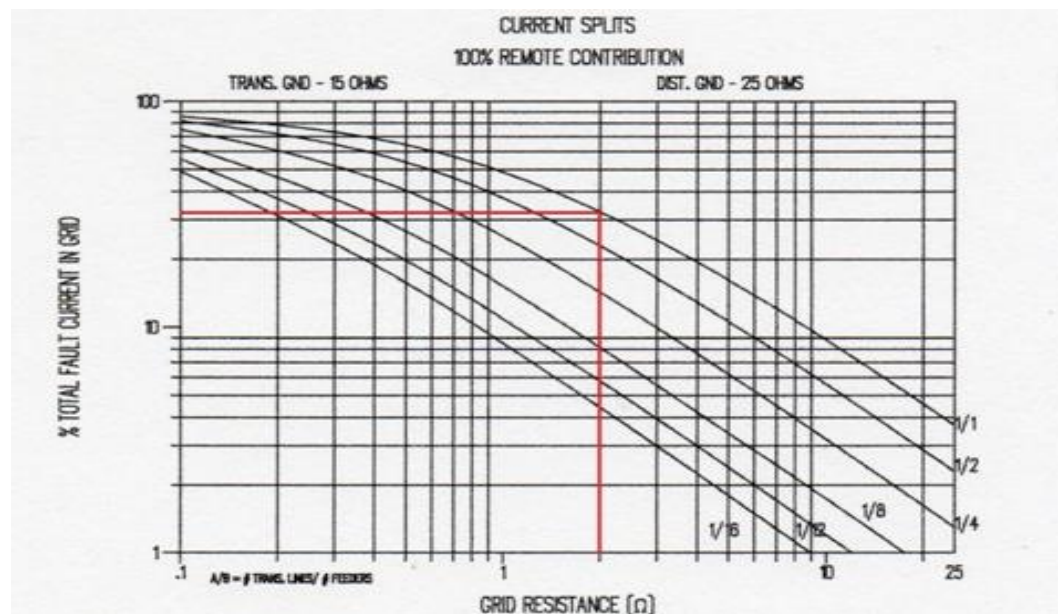
Donde  $S_f$  es el factor de división de corriente de falla, el cual es un porcentaje de la corriente de falla total en la malla.

$S_f$  se determina siguiendo cualquiera de los métodos recomendados por la norma ANSI - IEEE Std. 80-2000.

El factor de división de corrientes  $S_f$  es determinado por el método gráfico, en el cual se tienen en cuenta la cantidad de líneas de transmisión y distribución según la gráfica y la resistencia de malla calculada. En el anexo de la ANSI/IEEE std 80-2000 se muestran figuras C1 a C22, con las curvas que permiten el cálculo de  $S_f$  dependiendo del tipo de distribución de la subestación, el número de línea de transmisión y el valor de la resistencia de tierra.

La figura 4-19 se muestra la curva cuando el 100% del aporte a la falla es remoto y 0% local, representando la distribución típica de una Subestación con transformador Dy, X líneas de transmisión y Y alimentadores. En esta grafica es que usando el valor de la resistencia de tierra ( $R_g$ ) calculada, se estimara gráficamente el valor de  $S_f$ .

**Figura 4-14:** Curvas aproximada Split factor  $S_f$



Fuente: IEEE Std 80-2000

Se obtiene que  $S_f = 33\%$  de la corriente total de la falla en la malla.

$$I_g = I_{cc} * S_f$$

$$I_g = 4184 * 0.33$$

$$I_g = 1380A.$$

$$GPR = I_g * R_g$$

$$GPR = 1380 * 1,99$$

$$GPR = 2747,63$$

Si el GPR es menor que la tensión de contacto EC50, no se requiere validar más cálculos. Pero en este caso, se debe calcular las tensiones de paso y de contacto en la malla.

Para el cálculo de la tensión en la retícula, se tiene:

$$E_m = \frac{\rho * K_m * K_i * I_g}{L_M}$$

Dónde:

$K_m$ : Es el factor de espaciamiento para la tensión de malla.

$K_i$ : Es el factor de corrección por geometría de la malla.

$I_g$ : Es la corriente de falla en la malla.

$\rho$ : Resistividad del terreno.

$L_M$ : Longitud efectiva del conductor de la malla a tierra (cable + electrodos).

$$K_i = 0,644 + 0,148 * n$$

$$n = n_a * n_b * n_c * n_d$$

$$n_a = \frac{2 * L_c}{L_p}$$

Dónde:

$L_c$ = longitud total del cable, 12m.

$L_p$ = longitud del perímetro de la malla, 12m.

$n_b=n_c=n_d= 1$  para mallas cuadradas.

Reemplazando se obtiene  $n=2$

$K_i=0.94$

$$K_m = \frac{1}{2 * \pi} * \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16 * h * d} + \frac{(D + 2 * h)^2}{8 * D * d} - \frac{h}{4 * d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} * \ln \left( \frac{8}{\pi * (2 * n - 1)} \right) \right]$$

Dónde:

$D$ : es el ancho de la retícula (3m).

$n$ : es el número de conductores efectivos en paralelo en una malla rectangular (2).

$d$ : es el diámetro del conductor (0,015m).

$h$ : la profundidad de enterramiento de la malla (0,6m).

$K_{ii}= 1$  para mallas con varillas en las esquinas.



$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$$

$h_0 = 1$  (referencia profundidad de la malla).

$K_h = 1,264$ .

Se sustituyen los valores para obtener  $K_m$

$$K_m = \frac{1}{2 * \pi} * \left[ \ln \left( \frac{3^2}{16 * 0.6 * 0.015} + \frac{(3 + 2 * 0.6)^2}{8 * 3 * 0.015} - \frac{0.6}{4 * 0.015} \right) + \frac{1}{1.264} * \ln \left( \frac{8}{\pi * (2 * 2 - 1)} \right) \right]$$

$K_m = 1.01$

$$L_M = L_c + \left[ 1,55 + 1,22 * \left( \frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] * L_R$$

Dónde:

$L_c$ : longitud total del cable de la malla (12m).

$L_x$ : longitud de la malla en x (3m).

$L_y$ : Longitud de la malla en y (3m).

$L_r$ : Longitud del electrodo (2,44m).

$L_R$ : Longitud total de los electrodos enterrados (4,88m).

Se reemplaza y se obtiene el valor de  $L_M$ .

$$L_M = 12 + \left[ 1,55 + 1,22 * \left( \frac{2,44}{\sqrt{3^2 + 3^2}} \right) \right] * 4,88$$

$L_m = 22,987m$ .

Finalmente se puede calcular la tensión en la retícula.

$$E_m = \frac{\rho * K_m * K_i * I_g}{L_M}$$

$$E_m = \frac{11,50 * 1,01 * 0,94 * 1380}{22,987}$$

$E_m = 655,45A < EC50 = 838,62A$ .

Se procede entonces al cálculo de la tensión de paso en la malla, que está dada por la siguiente ecuación:

$$E_S = \frac{\rho * I_g * K_S * K_i}{0.75 * L_c * 0.85 * L_R}$$

Dónde:

Ks: es el factor de geometría.

$$K_S = \frac{1}{\pi} * \left[ \frac{1}{2 * h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} * (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

Reemplazando los valores obtenemos el valor de KS.

$$K_S = \frac{1}{\pi} * \left[ \frac{1}{2 * 0.6} + \frac{1}{3 + 0.6} + \frac{1}{3} * (1 - 0.5^{2-2}) \right]$$

KS= 0.353.

Entonces la tensión de paso en la malla será:

$$E_S = \frac{\rho * I_g * K_S * K_i}{0.75 * L_c * 0.85 * L_R}$$

$$E_S = \frac{11.50 * 1380 * 0.353 * 0.94}{0.75 * 12 * 0.85 * 4,88}$$

Es=141,05A <EP50=2455.98A.

De acuerdo lo anterior se concluye que el diseño de la malla de puesta a tierra cumple con los requisitos estipulados en la norma IEEE Std 80-2000.

#### **4.2.14 Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.**

El análisis del conductor más económico se realiza en la acometida y alimentadores principales considerando las pérdidas de energía en su vida útil, las cargas estimadas y los costos de energía proyectando el valor actual en la vida útil del proyecto.

Este análisis permite determinar el calibre y el material más adecuado para el proyecto desde los puntos de vista eléctrico y económico. Este es un factor muy importante en aquellos proyectos, en los cuales el costo económico de los conductores de acometida o alimentadores, tienen un alto porcentaje sobre el costo total del proyecto. El análisis tiene en cuenta la longitud

del conductor, su material, la regulación y pérdidas de ese material, y realiza un estudio del tiempo a futuro en el que se recuperaría la inversión realizada al comprar los conductores.

Para la selección de los conductores se tienen como referencia el conductor AAAC 123.3 AZUZA y El conductor secundario trenzado Triplex 1/0 AWG 600V; que son conductores que están normalizados por el operador de red (EPSA). En la norma de Diseño y Construcción de redes Eléctricas de Media y Baja Tensión, se pueden verificar todos los estudios técnicos y económicos que el operador de red tiene, como soporte al uso de estos conductores

#### **4.2.15 Verificación de los conductores teniendo en cuenta el tiempo de disparo de los interruptores, la corriente de cortocircuito de la red y la capacidad de corriente del conductor de acuerdo a la norma IEC 60909, IEEE 242, capítulo 9 o equivalente.**

En este ítem se valida que la selección de los conductores primario y secundario; se realizó de tal forma que los conductores seleccionados soporten las corrientes nominales definidas para el proyecto, que cumplan con lo establecido en la tabla 310-16 de la NTC2050 y que soporten las corrientes de cortocircuito calculadas en cada uno de los puntos donde vayan a ser instalados.

#### **4.2.16 Cálculo Mecánico de estructuras y de elementos de sujeción de equipos.**

En las Normas de Diseño y Construcción de la Empresa de Energía del Pacífico EPSA, en la “Memoria Línea Aérea MT EPSA” en el capítulo 8, numeral 8.1, expresa:

El objeto del cálculo mecánico es controlar la tensión mecánica de los conductores para los distintos regímenes de carga / condiciones climáticas para: evitar fatigas y daños que pongan en riesgo la seguridad / continuidad del servicio, evitar la aparición de fenómenos vibratorios y aprovechar la capacidad mecánica de los

mismos, logrando un balance adecuado entre longitud de vanos y dimensionamiento de postes.

Básicamente, este cálculo dependerá de los siguientes factores: (a) Las características meteorológicas y geográficas del sitio en la que se instalen las líneas. (b) La tensión mecánica a la que se verán sometidos los conductores al variar las condiciones ambientales en los distintos casos de carga. (c) La flecha que tomarán los mismos en los diferentes vanos y para los distintos casos de carga. (d) Su comportamiento frente a la posible aparición de fenómenos vibratorios. Para estas condiciones a la hora de establecer los límites de tensionado, el presente proyecto tipo se guiará de las recomendaciones establecidas por el CIGRÉ en el campo de las vibraciones eólicas. (e) Las características mecánicas de postes y crucetas utilizados en el presente proyecto tipo. (f) Los criterios constructivos adoptados para las áreas rural y urbana.

En la norma de Diseño y construcción de la EPSA, se tomaron todos estos aspectos y se condensó toda esta información en una serie de tablas, que permiten validar de una manera más rápida, las características de una red proyectada (tablas de tendido, tablas de cálculo mecánico de apoyos, tablas de vanos máximos admisibles, tablas de retenidas, tablas de regulación, tablas de cimentaciones). La eficacia de la validación, depende de la selección adecuada de la tabla que corresponda al proyecto a validar.

Primero hay que aclarar que los vanos indicados en las tablas de tendido y de cálculo mecánico de conductores, son vanos reguladores; por lo que hay que aclarar este concepto, para poder realizar el correcto análisis de las tablas.

El comportamiento de la componente horizontal de la tensión del cable en un cantón, o conjunto de vanos comprendidos entre dos postes con cadenas de amarre (fin de línea (FL) o doble terminal (ANC)) de la línea, se puede asemejar al comportamiento del mismo cable en un único vano tipo llamado vano regulador. Este se calcula mediante las expresiones indicadas en las Normas de Diseño y Construcción de la Empresa de Energía del Pacífico EPSA, en la “Memoria Línea Aérea MT EPSA” en el capítulo 8, numeral 8.4:

$$a_r = k * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i^3}{\sum_{i=1}^n \frac{a_i^2}{a_i}}}$$

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{a'^3_i}{a^2_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{a'^2_i}{a_i}}$$

$$a'_i = \sqrt{a^2_i + b^2_i}$$

Dónde:

$a_r$  = vano regulador (m).

$a_i$  = Longitud del vano individual (m).

$k$  = Factor de Truxá ( $K=1$  para vanos nivelados).

$a'_i$  = Longitud real vano  $i$  (m).

$b_i$  = Desnivel del vano  $i$  (m).

Todas las características de tensión y flechas que aparecen en la tabla para cada vano regulador, le aplican igualmente a todos los vanos individuales que pertenezcan al cantón al cual pertenece ese vano regulador.

En la Norma se delimitan 3 zonas para el diseño de líneas, identificadas con la letra A (0-1000m.s.n.m, 26°C promedio), B (1000-2000 m.s.n.m, 20°C promedio) y C (2000-3000 m.s.n.m, 15°C); y se hace la diferenciación entre redes urbanas y rurales.

Haciendo el ejercicio con el laboratorio de redes eléctricas de la Universidad Antonio Nariño, tendremos:

Se tiene para el proyecto las siguientes características: Zona A(977 msn), zona urbana, red primaria trifásica en conductor AAAC 123.3 AZUZA en red semiaislada configuración Hendrix, apoyos primarios de concreto de 12x1050kg-f, un transformador trifásico de 15 kVA, postes secundarios de 9x510Kg-f,y conductor secundario Cuádruplex 1/0 AWG 600V.

Para este proyecto se tendría la siguiente información para la red primaria: Zona A, urbano, conductor AAAC 123.3, red primaria trifásica, configuración compacta, postes de 12m.

Para este proyecto se tendría la siguiente información para la red secundaria: Zona A, urbano, conductor Cuádruplex 1/0, red secundaria trifásica, configuración normal, postes de 9mt.

La Norma EPSA, contiene las tablas de cálculo mecánico de conductores, de tendido, de cálculo mecánico de postes y de vano máximo admisible, para los diferentes tipos de zona, tipos de cable, tipos de configuración de red y alturas de postes. Se debe consultar la tabla correspondiente que cumpla con las características de la red a validar.

Una vez ubicada la tabla correspondiente, se ubica el valor del vano regulador correspondiente.

De esta forma se validan: la longitud de los vanos primarios y secundarios, y se definen las tensiones y flechas, requeridas al momento de construir las redes primarias y secundarias.

De igual forma se debe aclarar que existen software específicos para realizar todos estos cálculos. Pero en el caso de este proyecto, se puede utilizar todas las herramientas que el operador de red suministra en sus normas, para validar el proyecto.

De igual forma se cumple para el caso del apoyo EPP002 donde va instalado el transformador trifásico de 15kVA; ya que el RETIE en el capítulo 24, numeral 3, sección a dice: “....Los transformadores menores o iguales a 112.5 kVA y con un peso inferior a 600 Kg, se deben instalar en un solo poste que tenga una resistencia de rotura no menor a 510 Kg-f;...”.

Todos los herrajes y aisladores empleados deben corresponden a los contemplados en la Norma del Operador de Red Local (EPSA).

#### **4.2.17 Cálculo y coordinación de protecciones contra sobre corriente.**

En baja tensión se permite la coordinación con las características de limitación de corriente de los dispositivos según IEC 60947-2 Anexo A.

La coordinación de protecciones, permite garantizar que los diferentes elementos de protecciones contra sobre corrientes instalados en la red eléctrica, operen adecuadamente. Dependiendo del sitio donde ocurra la falla, se debe disparar la protección “aguas arriba” más

cercana al punto de falla, con el fin de minimizar una mayor afectación en el resto de la red eléctrica.

El transformador será instalado en poste (Apoyo EPP002), por lo tanto se contempla la instalación de cortacircuitos en Media Tensión, con su respectivo fusible de protección.

$$I_{nominalMT} = \frac{kVA}{U_1 * \sqrt{3}}$$

$$I_{nominalMT} = \frac{15000}{13200 * \sqrt{3}}$$

$$I_{nominalMT} = 0.65A$$

$$I_{diseño} = I_{nominalMT} * 1.25A$$

$I_{diseño} = 0.8A$

Con base al cálculo anterior, se seleccionan: un fusible de 1 A, tipo k, para el transformador trifásico de 15 kVA.

El alcance del proyecto, va hasta el poste secundario de baja tensión. El diseño de las redes secundarias de uso final no está incluido aquí; por lo cual no se requiere hacer coordinación de protecciones entre el fusible de media tensión y los interruptores termomagnéticos instalados en el tablero general de baja tensión.

#### **4.2.18 Cálculos de canalizaciones (tubo, ductos, canaletas y electroductos) y volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas, etc.).**

En este ítem se debe calcular los diámetros de las tuberías, dimensiones de cárcamos, dimensiones de canaletas, y porcentaje de ocupación de cualquier elemento que se utilice para canalizar los conductores.

Existen muchas aplicaciones en Excel que permiten hacer estos cálculos, o también se puede recurrir a la tabla C9 de la NTC2050. En el proyecto laboratorio de redes de la Universidad Antonio Nariño sede Buga, todas las redes eléctricas de Media Tensión y baja tensión son aéreas, no se presenta ningún tipo de canalización o encerramiento de conductores.

#### **4.2.19 Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.**

##### **a) Cálculos de Pérdidas de energía Media tensión**

Las instalaciones eléctricas presentan pérdidas de energía por diversos motivos, en un proyecto de subestación se evaluarán principalmente las pérdidas de energía relacionadas a la resistividad propia de los materiales conductores, y a las causadas por la constante K de regulación.

Para conocer las pérdidas de potencia trifásica en los conductores, debida a la regulación, se utiliza la siguiente ecuación:

$$P = V * I * \%Regulacion$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * V}$$

$$\%Regulacion = Momento * k$$



$$\text{Momento} = kVADemanda * L$$

kVA DEMANDA: es la carga que se va a alimentar.

k :es la constante de regulación del conductor.

L: es la longitud del conductor.

Reemplazando obtenemos:

$$P = \frac{S * kVADemanda * L * k}{\sqrt{3}}$$

Para el laboratorio de redes de la Universidad Antonio Nariño, se tiene:

L=0.073km

S=kVADEMANDA =15.

K=0,0005487  $\Omega$ .km (conductor AAAC 123.3 AZUZA).

$$P = \frac{15 * 15 * 0.073 * 0.0005487}{\sqrt{3}}$$

P= 0.0052W.

En el proyecto solo hay dos vanos primarios y un transformador, por eso se puede hacer en un solo cálculo, pero cuando la red es más compleja y tiene más transformadores; es recomendable hacer una hoja de cálculo, aplicando el mismo criterio usado anteriormente.

**b) Cálculos de pérdidas de energía Baja tensión.**

Para las pérdidas en baja tensión aplicaría el mismo procedimiento.

**c) Cálculos De Regulación Media y baja tensión.**

Como el valor de la regulación es un requisito previo para obtener el valor de las pérdidas, la hoja de cálculo descrita en el numeral anterior; entrega los valores de regulación en Media y Baja tensión.

**Cálculos de regulación Media tensión.**

Del numeral 15.1 se obtiene que la regulación entre el punto de conexión y el apoyo EPP002 es: 0,0006%

**Cálculos de regulación Baja tensión.**

Del numeral 15.2 se obtiene que la regulación desde el transformador hasta el apoyo ESP001 es: 0,0174%

## 4.2.20 Clasificación de áreas

El RETIE en el capítulo 28, numeral 28.3 indica, que las Instalaciones especiales:

Son aquellas instalaciones que por estar localizadas en ambientes clasificados como peligrosos o por alimentar equipos o sistemas complejos, presentan mayor probabilidad de riesgo que una instalación básica y por tanto, requieren de medidas especiales, para mitigar o eliminar tales riesgos. Las siguientes instalaciones especiales deben cumplir los requisitos establecidos tanto en el Anexo General como en la NTC 2050, para cada una.

Para el presente proyecto no aplica puesto que la instalación objeto del diseño no contiene gases o vapores, líquidos inflamables, polvos combustibles o fibras o partículas combustibles, en donde pueda existir riesgo de explosión.

### **4.2.21 Elaboración de diagramas unifilares.**

Los diagramas unifilares representan todas las partes que componen una red eléctrica de modo gráfico, completo, tomando en cuenta las conexiones que hay entre los elementos, para lograr así una visualización completa de la red de una forma más sencilla. Ya que un sistema trifásico balanceado siempre se resuelve como un circuito equivalente monofásico, o por fase, compuesto de una de las tres líneas y un neutro de retorno.

Todos los diagramas unifilares del proyecto, se pueden observar en los planos impresos del proyecto.

### **4.2.22 Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.**

El plano eléctrico es la representación de los diferentes circuitos que componen y definen las características de una instalación eléctrica y donde se detallan las particularidades de los materiales y dispositivos existentes. Para representar estos planos pueden utilizarse diferentes tipos de esquemas eléctricos normalizados y estandarizados, entendiendo como esquema eléctrico el conjunto de conexiones y relaciones eléctricas coherentes mediante símbolos de los componentes de un sistema eléctrico.

Los símbolos se utilizan para representar máquinas, partes de una instalación, dispositivos, estructuras, conductores etc. Si no existe un símbolo normalizado para el elemento que se necesita representar, pueden utilizarse figuras detalladas u otras representaciones, siempre que se indique su significado. Los trazos o líneas representan conexiones eléctricas, uniones mecánicas, condiciones de dependencia entre elementos o agrupamientos de diversos elementos. Pueden ser gruesos, finos, continuos o discontinuos. En general, el plano debe suministrar las herramientas que permiten el total entendimiento del proyecto. (Ver planos impresos del proyecto)

#### **4.2.23 Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.**

Tanto en el diseño como en la construcción del proyecto, se deberá dar cumplimiento a lo establecido en el RETIE y en la norma NTC-2050.

Las especificaciones de construcción complementarias a los planos serán las contempladas en la norma de Diseño y construcción de redes MT/BT del operador de Red Empresa de Energía del Pacífico EPSA E.S.P.

#### **4.2.24 Establecer las distancias de seguridad requeridas.**

El artículo 13, sobre distancias de seguridad, del reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE, indica:

Para efectos del presente reglamento y teniendo en cuenta que frente al riesgo eléctrico la técnica más efectiva de prevención, siempre será guardar una distancia respecto a las partes energizadas, puesto que el aire es un excelente aislante, en este apartado se fijan las distancias mínimas que deben guardarse entre líneas o redes eléctricas y elementos físicos existentes a lo largo de su trazado (carreteras, edificaciones, piso del terreno destinado a sembrados, pastos o bosques, etc.), con el objeto de evitar contactos accidentales. Las distancias verticales y horizontales que se presentan en las siguientes tablas, se adoptaron de la norma ANSI C2; todas las tensiones dadas en estas tablas son entre fases, para circuitos con neutro puesto a tierra sólidamente y otros circuitos en los que se tenga un tiempo despeje de falla a tierra acorde con el presente reglamento.

Los constructores y en general quienes presenten proyectos a las curadurías, oficinas de planeación del orden territorial y demás entidades responsables de expedir las licencias o permisos de construcción, deben manifestar por escrito que los proyectos que solicitan dicho trámite cumplen a cabalidad con las distancias mínimas de seguridad establecidas en el RETIE.

Es responsabilidad del diseñador de la instalación eléctrica verificar que en la etapa pre constructiva este requisito se cumpla. No se podrá dar la conformidad con el RETIE a instalaciones que violen estas distancias. El profesional competente responsable de la construcción de la instalación o el inspector que viole esta disposición, sin perjuicio de las acciones penales o civiles, debe ser denunciado e investigado disciplinariamente por el consejo profesional respectivo. El propietario de una instalación que al modificar la construcción viole las distancias mínimas de seguridad, será objeto de la investigación administrativa correspondiente por parte de las entidades de control y vigilancia por poner en alto riesgo de electrocución no sólo a los moradores de la construcción objeto de la violación, sino a terceras personas y en riesgo de incendio o explosión a las edificaciones contiguas.

A menos que se indique lo contrario, todas las distancias de seguridad deben ser medidas de superficie a superficie. Para la medición de distancias de seguridad, los accesorios metálicos normalmente energizados serán considerados como parte de los conductores de línea y las bases metálicas de los terminales del cable o los dispositivos similares, deben ser tomados como parte de la estructura de soporte. La precisión en los elementos de medida no podrá tener un error de más o menos 0,5%. Para mayor claridad se deben tener en cuenta las notas explicativas, las figuras y las tablas aquí establecidas.

Nota 1: Las distancias de seguridad establecidas en las siguientes tablas, aplican a conductores desnudos.

Nota 2: En el caso de tensiones mayores a 57,5 kv entre fases, las distancias de aislamiento eléctrico especificadas en las tablas se incrementarán en un 3% por cada 300 m que sobrepasen los 1000 metros sobre el nivel del mar.

Nota 3: Las distancias verticales se toman siempre desde el punto energizado más cercano al lugar de posible contacto.

Nota 4: La distancia horizontal "b" se toma desde la parte energizada más cercana al sitio de posible contacto, es decir, trazando un círculo desde la parte energizada, teniendo en cuenta la posibilidad real de expansión vertical que tenga la edificación y que en ningún momento la red quede encima de la construcción.

Nota 5: Si se tiene una instalación con una tensión diferente a las contempladas en el presente reglamento, debe cumplirse el requisito exigido para la tensión inmediatamente superior.

Nota 6: Cuando los edificios, chimeneas, antenas o tanques u otras instalaciones elevadas no requieran algún tipo de mantenimiento, como pintura, limpieza, cambio de partes o trabajo de personas cerca de los conductores; la distancia horizontal “b”, se podrá reducir en 0,6 m.

Nota 7: Un techo, balcón o área es considerado fácilmente accesible para los peatones si éste puede ser alcanzado de manera casual a través de una puerta, rampa, ventana, escalera o una escalera a mano permanentemente utilizada por una persona, a pie, alguien que no despliega ningún esfuerzo físico extraordinario ni emplea ningún instrumento o dispositivo especial para tener acceso a éstos. No se considera un medio de acceso a una escalera permanentemente utilizada si es que su peldaño más bajo mide 2,45 m o más desde el nivel del piso u otra superficie accesible fija.

Nota 8: Si se tiene un tendido aéreo con cable aislado y con pantalla no se aplican estas distancias; tampoco se aplica para conductores aislados para baja tensión.

Nota 9: En techos metálicos cercanos o en casos de redes de conducción que van paralelas o que cruzan las líneas de media, alta y extra alta tensión, se debe verificar que las tensiones inducidas no generen peligro o no afecten el funcionamiento de otras redes.

Nota 10: Donde el espacio disponible no permita cumplir las distancias horizontales de la Tabla 4-39 para redes de media tensión, tales como edificaciones con fachadas o terrazas cercanas, la separación se puede reducir hasta en un 30%, siempre y cuando, los conductores, empalmes y herrajes tengan una cubierta que proporcione suficiente rigidez dieléctrica para limitar la probabilidad de falla a tierra, tal como la de los cables cubiertos con tres capas para red compacta. Adicionalmente, deben tener espaciadores y una señalización que indique que es cable no aislado. En zonas arborizadas urbanas se recomienda usar esta tecnología para disminuir las podas.

Nota 11: En general los conductores de la línea de mayor tensión deben estar a mayor altura que los de la de menor tensión.

### **Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones**

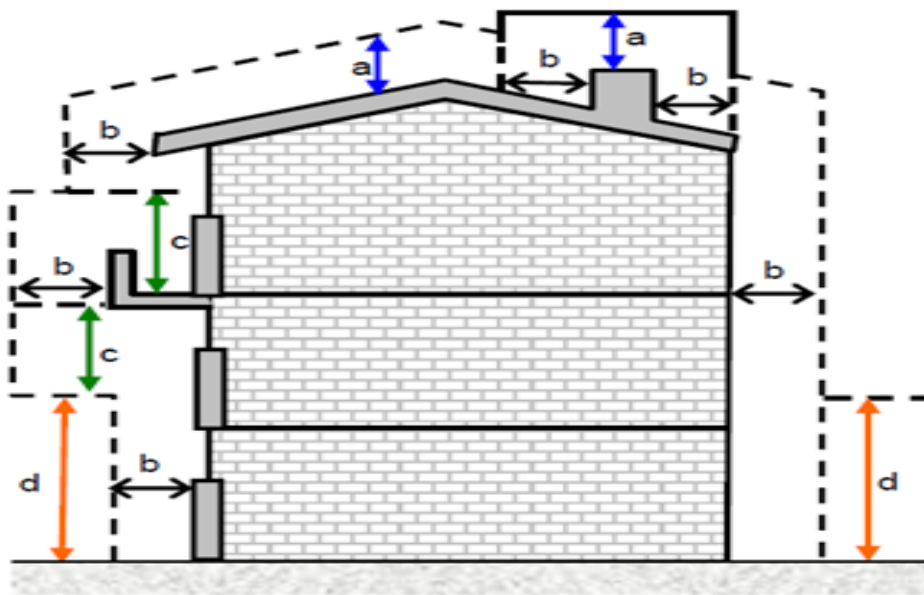
Las distancias mínimas de seguridad que deben guardar las partes energizadas respecto de las construcciones, son las establecidas en la Tabla 13-1 del presente reglamento y para su interpretación se debe tener en cuenta la Figura 13-1 del RETIE.

**Tabla 4-15:** Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones

DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD EN ZONAS CON CONSTRUCCIONES		
Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)
Distancia vertical "a" sobre techos y proyecciones, aplicable solamente a zonas de muy difícil acceso a personas y siempre que el propietario o tenedor de la instalación eléctrica tenga absoluto control tanto de la instalación como de la edificación (Figura 13.1).	44/34,5/33	3,8
	13,8/13,2/11,4/7,6	3,8
	<1	0,45
Distancia horizontal "b" a muros, balcones, salientes, ventanas y diferentes áreas independientemente de la facilidad de accesibilidad de personas. (Figura 13.1)	66/57,5	2,5
	44/34,5/33	2,3
	13,8/13,2/11,4/7,6	2,3
	<1	1,7
Distancia vertical "c" sobre o debajo de balcones o techos de fácil acceso a personas, y sobre techos accesibles a vehículos de máximo 2,45 m de altura. (Figura 13.1)	44/34,5/33	4,1
	13,8/13,2/11,4/7,6	4,1
	<1	3,5
Distancia vertical "d" a carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular. (Figura 13.1) para vehículos de más de 2,45 m de altura.	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6
	<1	5

Fuente: RETIE.

Figura 4-15: Distancia de seguridad en zonas con construcciones



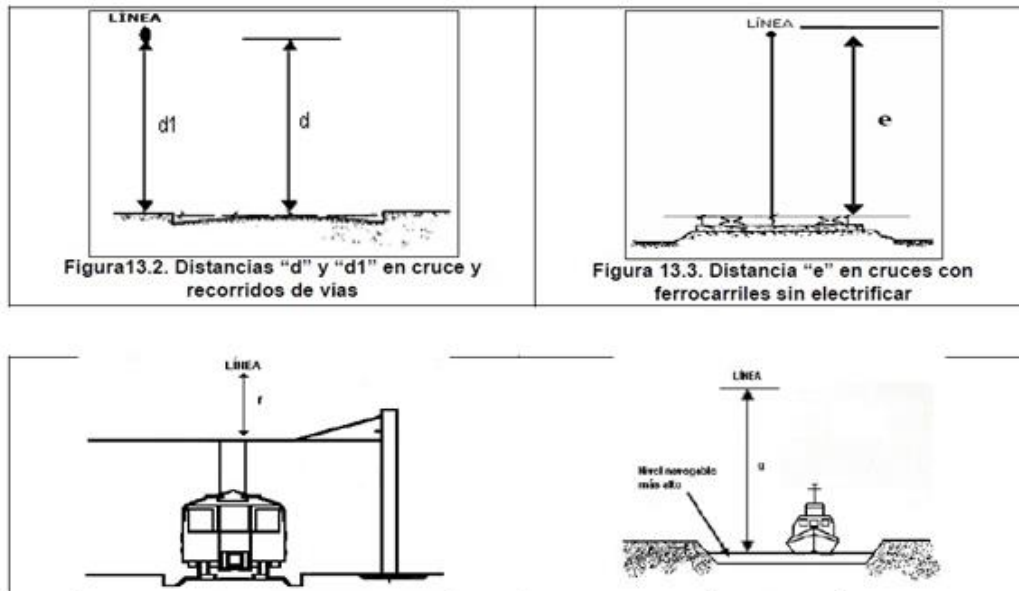
Fuente: RETIE.

El numeral 13.2 de RETIE, define las distancias mínimas de seguridad para diferentes lugares y situaciones.

**Distancias mínimas de seguridad para diferentes lugares y situaciones**

En líneas de transmisión o redes de distribución, la altura de los conductores respecto del piso o de la vía, como lo señalan las Figuras 13.2 y 13.3, no podrá ser menor a las establecidas en la Tabla 13.2 de RETIE.

**Figura 4-16:** Distancia f y g para cruces con ferrocarriles y ríos



Fuente: RETIE

Nota: En el caso de tensiones línea – tierra que superen 98 kv, se podrán aumentar las distancias de la Tabla 4-39 o disminuir el campo eléctrico, considerando que el vehículo o equipo más grande esperado bajo la línea fuera conectado a tierra para limitar a 5 mA rms la corriente de estado estacionario debida a los efectos electrostáticos. Para calcular esta condición los conductores deben estar des energizados y la flecha a 50 °C.



**Tabla 4-16:** Distancia mínima de seguridad para diferentes situaciones

Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)
Distancia mínima al suelo "d" en cruces con carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular (Figura 13.2).	500	11,5
	230/220	8,5
	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6
	<1	5,0
Cruce de líneas aéreas de baja tensión en grandes avenidas.	<1	5,6
	500	11,5
	230/220	8,0
	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6
Distancia mínima al suelo "d" en zonas de bosques de arbustos, áreas cultivadas, pastos, huertos, etc. Siempre que se tenga el control de la altura máxima que pueden alcanzar las copas de los arbustos o huertos, localizados en la zonas de servidumbre (Figura 13.2).	<1	5,0
	500	8,6
	230/220	6,8
	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6
En áreas de bosques y huertos donde se dificulta el control absoluto del crecimiento de estas plantas y sus copas puedan ocasionar acercamientos peligrosos, se requiera el uso de maquinaria agrícola de gran altura o en cruces de ferrocarriles sin electrificar, se debe aplicar como distancia "e" estos valores (Figura 13.3) <sup>5</sup>	<1	5,0
	500	11,1
	230/220	9,3
	115/110	8,6
	66/57,5	8,3
	44/34,5/33	8,1
	13,8/13,2/11,4/7,6	8,1
Distancia mínima vertical en el cruce "f" a los conductores alimentadores de ferrocarriles electrificados, teleféricos, tranvías y trole-buses (Figura 13.4)	<1	7,5
	500	4,8
	230/220	3,0
	115/110	2,3
	66/57,5	2,0
	44/34,5/33	1,8
	13,8/13,2/11,4/7,6	1,8
Distancia mínima vertical respecto del máximo nivel del agua "g" en cruce con ríos, canales navegables o flotantes adecuados para embarcaciones con altura superior a 2 m y menor de 7 m (Figura 13.4)	<1	1,2
	500	12,9
	230/220	11,3
	115/110	10,6
	66/57,5	10,4
	44/34,5/33	10,2
	13,8/13,2/11,4/7,6	10,2
Distancia mínima vertical respecto del máximo nivel del agua "g" en cruce con ríos, canales navegables o flotantes, no adecuadas para embarcaciones con altura mayor a 2 m. (Figura 13.4)	<1	9,6
	500	7,9
	230/220	6,3
	115/110	5,6
	66/57,5	5,4
	44/34,5/33	5,2
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,2
Distancia mínima vertical al piso en cruce por espacios usados como campos deportivos abiertos, sin infraestructura en la zona de servidumbre, tales como graderías, casetas o cualquier tipo de edificaciones ubicadas debajo de los conductores.	<1	4,6
	500	14,6
	230/220	12,8
	115/110	12
	66/57,5	12
	44/34,5/33	12
	13,8/13,2/11,4/7,6	12
Distancia mínima horizontal en cruce cercano a campos deportivos que incluyan infraestructura, tales como graderías, casetas o cualquier tipo de edificación asociada al campo deportivo.	<1	12
	500	11,1
	230/220	9,3
	115/110	7,0
	66/57,5	7,0
	44/34,5/33	7,0
	13,8/13,2/11,4/7,6	7,0
<1	7,0	

Fuente: RETIE

Para hablar sobre las distancias de seguridad (Tabla 4-40), que le aplican al proyecto laboratorio de redes Universidad Antonio Nariño, debemos indicar que en el capítulo 13, nota 1; el RETIE indica: Nota 1: Las distancias de seguridad establecidas en las siguientes tablas,

aplican a conductores desnudos. De igual forma en la Nota 8, reafirma que: Nota 8: Si se tiene un tendido aéreo con cable aislado y con pantalla no se aplican estas distancias; tampoco se aplica para conductores aislados para baja tensión.

Como en el proyecto se está haciendo un ejercicio didáctico, donde la red inicialmente no va a estar energizada. Si a futuro se decide energizarla, no le aplicarían las distancias de seguridad, por cuanto el conductor Semiaislado AAAC 123.3 y el conductor trenzado Cuádruplex 1/0 AWG 600V, vienen recubiertos de aislamiento. De igual forma las redes están alejadas de las edificaciones de la universidad.

#### **4.2.25 Justificación técnica de desviación técnica de la NTC 2050**

Cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de la personas y de la instalación. Si a consideración del ingeniero que realiza el Diseño, existe algún impedimento que no le permita dar cumplimiento con lo establecido en el RETIE; deberá presentar la debida justificación para la desviación.

En el caso del proyecto laboratorio de redes Universidad Antonio Nariño, no se presenta ninguna desviación respecto a la norma NTC 2050.

### **4.3 Análisis financiero.**

Para este proyecto de investigación se realizo un analices presupuestal el cual determinara el costo de los materiales , equipos, y mano de obra, necesarios para realizar la implementación del centro de entrenamiento para liniero en la universidad Antonio Nariño sede buga .

**Tabla 4-17: Presupuesto de materiales**

<b>MATERIAL , EQUIPOS Y MANO DE OBRA NECESARIOS PARA COSNTRUIR EL CENTRO DE ENTRENAMIENTO ELECTRICO</b>					
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
1	POSTE DE CONCRETO DE 12 M X 510 KG	3	UN	\$ 700.891,53	\$ 2.102.674,60
2	POSTE DE CONCRETO DE 9m x 510 kg	1	UN	\$ 385.626,28	\$ 385.626,28
3	ANCLA DE HORMIGON	4	UN	\$ 20.431,03	\$ 81.724,13
4	VARILLA DE ANCLAJE DE OJO C.T. 1"x8'	4	UN	\$ 128.229,43	\$ 512.917,72
5	GUARDACABOS PARA RETENCION CABLE DE ACERO 3/8"	4	UN	\$ 791,32	\$ 3.165,29
6	AISLADOR PORCELANA TIPO TENSOR DE 3/8" ( ANSI 54-2)	4	UN	\$ 7.624,29	\$ 30.497,15
7	ALAMBRE ACERO GALV. 3 MM.	4	KG	\$ 4.278,40	\$ 17.113,60
8	ML CABLE ACERO GALVANIZADO 3/8"	54	MTRS	\$ 2.526,11	\$ 136.409,72
9	CABLE DE ACERO 1/4" PARA RETENIDA CLAS A	44	MTRS	\$ 1.137,19	\$ 50.036,16
10	PICA DE PUESTA A TIERRA 5/8" x 8"	4	UN	\$ 34.716,45	\$ 138.865,78
11	CONECTOR COMPRESION PICA P.T.	4	UN	\$ 15.487,18	\$ 61.948,70
12	TUBO CONDUIT GALVANIZADO 1/2" X 3 METROS	4	UN	\$ 25.895,87	\$ 103.583,48
13	ML FLEJE DE SUJECIÓN 20x0,7 mm	12	MTRS	\$ 3.075,55	\$ 36.906,54
14	HEBILLA PARA FLEJE DE SUJECION 20MM	12	UN	\$ 803,36	\$ 9.640,36
15	CONECTOR CUÑA A PRESIÓN 1/0 - 1/0 AWG	11	UN	\$ 8.889,53	\$ 97.784,82
16	CARTUCHO AZUL CONECTOR CUÑA A PRESION	12	UN	\$ 4.445,86	\$ 53.350,31
17	SOPORTE TANGENCIAL CONduc SEMIAISLA 15KV	1	UN	\$ 92.306,85	\$ 92.306,85
18	BRAZO ANTIBALANCEO P/ ESPACIADORES 15 KV	1	UN	\$ 52.143,07	\$ 52.143,07
19	CRUCETA ANGULAR METÁLICA 1 400 mm	8	UN	\$ 134.288,58	\$ 1.074.308,66
20	ABRAZADERA DOBLE DE 140 MM (5 A 6")-SGI	13	UN	\$ 17.857,86	\$ 232.152,21
21	ABRAZADERA DOBLE DE 160 mm (5 A 6")-SGI	2	UN	\$ 12.893,21	\$ 25.786,42
22	ABRAZADERA DOBLE DE 180 MM (6 A 7")-SGI	3	UN	\$ 14.359,84	\$ 43.079,52
23	PERNO ROSCA CORRIDA AC. GALV. 5/8" X 12"	6	UN	\$ 4.124,08	\$ 24.744,46
24	GRILLETE LARGO RECTO 5/8" 11 300 KG-SGI	4	UN	\$ 25.714,18	\$ 102.856,73

25	TUERCA DE OJO ACERO GALVANIZADO 5/8"	4	UN	\$ 3.799,01	\$ 15.196,04
26	GRAPA RETENCION T/PISTOLA CONduc 1/0 AWG	2	UN	\$ 30.372,38	\$ 60.744,75
27	GRAPA AMARRE ALUMINIO COND. AWG 1/0 (RAVEN)	6	UN	\$ 16.150,44	\$ 96.902,65
28	AISLADOR COMPOSITE TIPO SUSPENSION 13,2 KV_70KN-SGI	6	UN	\$ 22.205,22	\$ 133.231,30
29	ESPACIADORES CONDUCTORES SEMIAILAD 15 KV	9	UN	\$ 53.551,70	\$ 481.965,26
30	CABLE ACSR 1/0 ECOLOGICO 15 KV	120	MTRS	\$ 5.874,18	\$ 704.901,78
31	CONDUCTOR MENSAJERO ACSR/AW T/AWAC # 1/0	40	MTRS	\$ 2.530,48	\$ 101.219,36
32	ML CONDUCTOR TRENZADO TRIPLEX 600V 1/0	19	MTRS	\$ 7.228,08	\$ 137.333,48
33	BASE SECCIONADOR FUSIBLE DE 15 KV 200 A	2	UN	\$ 58.717,74	\$ 117.435,47
34	TUBO PORTAFUSIBLE EXPULSION 15 KV	2	UN	\$ 32.317,30	\$ 64.634,60
35	CUBO METALICO SOPORTE PROTECCIONES -CM	2	UN	\$ 7.756,72	\$ 15.513,44
36	ALAMBRE COBRE DESNUDO # 4 AWG	7	MTRS	\$ 5.863,24	\$ 41.042,66
37	CONEC BIMET.T/CU <sub>2</sub> A 2 A 8, 6 Y 4 TIPO-I	1	UN	\$ 4.474,32	\$ 4.474,32
38	PARARRAYOS AUTOVÁLVULA 13,2 kV 10 kA - SN (U <sub>r</sub> =15KV)	6	UN	\$ 80.567,24	\$ 483.403,44
39	PIN AISLADOR 3/4" X 1.1/2" PARA 34.5KV	12	UN	\$ 5.900,00	\$ 70.800,00
40	SOPORTE LATERAL P/AISLADOR TIPO POSTE.	3	UN	\$ 21.294,00	\$ 63.882,00
41	AISLADOR PORCELANA (ANSI-57-1) 13.2KV	12	UN	\$ 54.400,00	\$ 652.800,00
42	TUBO GALVANIZADO DE 4" DIAMETRO POR 2 M DE LARGO	4	UN	\$ 161.328,00	\$ 645.312,00
43	<b>MANO DE OBRA</b>	2	DIAS	\$ 1.034.000,00	\$ 2.068.000,00
44	<b>SERVICIO DE GRUA DE FUERZA</b>	1	DIA	\$ 987.000,00	\$ 987.000,00
	<b>TOTAL</b>				<b>\$ 12.415.415,11</b>

Fuente: Elaboración propia.

## **4.4 Procedimientos**

Estos procedimientos fueron elaborados para que el estudiantes tenga un paso a paso en el momento de realizar las prácticas que en este proyecto se proponen y con la primicia que el centro de entrenamiento para liniero será implementado por la universidad Antonio Nariño sede buga valle del cauca .

### **Procedimiento seguro para construcción de redes eléctricas de media y baja tensión.**

Este procedimiento consiste en la explicación detallada de cada una de las actividades que se requieren para la construcción de una red de media y baja tensión , teniendo en cuenta el orden en el cual se deben realizar las actividades , desde la apertura del hueco para la hincada del poste hasta el amarre y tendido de las líneas , teniendo en cuenta siempre la seguridad y el uso de los equipos de protección personal , todo trabajo que se ejecute dentro de la rama de la electricidad se debe siempre cumplir con las 5 reglas de oro y que en este documento se hace referencia.

Ver detalle del procedimiento en el anexo F.

### **Procedimiento seguro para trabajo en altura y rescate en escalera .**

Este procedimiento fue elaborado para que el estudiante identifique los equipos , elementos, herramientas y desarrolle la práctica segura para la protección contra caída en trabajos en altura , de acuerdo a la resolución 1409 de 2012 que dice que trabajo seguro en altura es todo labor o desplazamiento que se haga a 1,50 metros o más sobre el nivel inferior.

Adicional encontramos como se debe realizar un rescate seguro en escalera , si llegase a presentarse algún evento donde el estudiante pierda el conocimiento mientras realiza el ascenso o descenso en el poste .

Ver detalle del procedimiento en el anexo G.

## 5 Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

La importancia con la que se desarrolló este proyecto no solo tiene el alcance local y necesario para las compañías prestadoras de servicio público (energía ) sino que a nivel nacional se requieren más implementación de este tipo de centros de entrenamientos para linieros y así poder suplir la necesidad generada en el país.

Todos los parámetros de diseño y especificación de los equipos que componen el montaje del centro de formación para linieros , respetan los umbrales impuestos en los códigos eléctricos aplicables y en la normatividad vigente que aplica para este (NTC, RETIE, etc.), y así garantizar una operación segura dentro de un ambiente pedagógico, sin crear condiciones que permitan cualquier tipo de riesgo.

Muchas de las actividades que ejecutan los linieros, implican tomar altos riesgos, razón por la cual es fundamental una excelente capacitación, formación y entrenamiento de todo el personal ,de tal manera que sean sujetos competentes y tengan destrezas altamente desplegadas para maniobrar los equipos, trabajar en grupo y tomar decisiones acertadas acorde a los distintos acontecimientos que se puedan manifestar, dentro de los procedimientos elaborados el estudiante desarrollará las habilidades necesarias para la ejecución de actividades como la liniería.

Dentro de todo proyecto se puede observar el alcance económico y costos de implementación y operatividad , no es ajeno que para este proyecto los costos de implementación son bastante altos , pero si revisamos a fondo la necesidad que enfrenta el país por no tener mano de obra calificada y personal que ejecute este tipo de actividad los costos pasaran a ser irrisorios , porque con el diseño e implementación estaríamos siendo parte de la solución al problema planteado.

## 5.2 Recomendaciones.

Los centros de entrenamientos, permiten transmitir los conocimientos necesarios para que el estudiante pueda desempeñarse en el ámbito laboral requerido , es por ello que dentro de las recomendaciones puntuales de este trabajo de investigación ,se recomienda la implementación del centro de capacitación de linieros de acuerdo al diseño planteado.

Se recomienda que la universidad Antonio Nariño sede Guadalajara de buga elabore un pensum académico basándose en las necesidades propias de las diferentes empresas prestadoras del servicio de energía de la región y así dentro de sus diferentes programas académicos, pueda incluir todo lo relacionado con el tema de liniería y algunas actividades adicionales, propias del proceso de montajes y mantenimiento de redes de distribución eléctricas de media y baja tensión .

De acuerdo a la resolución 1409 de 2012, que exige el cumplimiento para trabajo seguro en altura para todo empleado que realice trabajo a más de 1,50 metros sobre un nivel inferior , y que desde el diseño esta planteado que la universidad implemente las estructuras y los equipos necesarios para el entrenamiento y reentrenamiento de trabajo seguro en altura , se recomienda utilizar el procedimiento para trabajo seguro en altura y rescate en escalera elaborado en este proyecto de investigación .

Se recomienda hacer visitas a campo donde se pueda ver la ejecución de trabajos de liniería y conversar con los técnicos para sumar experiencia , y envolver nuevos conceptos, igualmente se pueden aplicar nuevos métodos de aprendizaje, evaluar las capacidades, el comportamiento, el nivel de concentración y las competencias tanto de alumnos como de tutores, con el fin de aprender a través de la práctica.

## **A .Anexo: Plano centro de entrenamiento para liniero universidad Antonio Nariño.**



Ext red MT BT  
Universidad Antonic

## **B .Anexo: Estructura 1 . Configuración en Bandera.**



Estructura tipo  
bandera trifasico.pdf

## **C .Anexo: Estructura 2. Configuración Triangular – Compacta vano largo.**



Estructura tipo  
compacta vano largc



## **D .Anexo : Estructura 3. Configuración Horizontal.**



Estructura tipo  
horizontal trifasico.1

## **E .Anexo : Estructura 4. Configuración Compacta.**



Estructura tipo  
compacta trifasico.p

## **F .Anexo : procedimiento seguro para construcción de redes.**



Procedimiento  
seguro para constru

## **G .Anexo : procedimiento seguro para trabajo en altura y rescate en escalera .**



Procedimiento  
Seguro para trabajo

## Bibliografía

- CHEC. (2019). CHEC y SENA consolidan alianza educativa. 23 de abril de 2019, de Grupo EPM Sitio web: <https://www.chec.com.co/Medios-de-comunicacion/Noticias-y-eventos/ArtMID/4762/ArticleID/398/CHEC-y-SENA-consolidan-alianza-educativa>
- CIDET. (2019). Linieros: el engranaje perfecto para el sector eléctrico. Mayo 01, 2019, de CIDET Sitio web: <http://www.cidet.org.co/linieros-el-engranaje-perfecto-para-el-sector-electrico>
- EPSA. (2019). Políticas generales y normatividad. Mayo 01, 2019, de CELSIA Sitio web: <https://www.celsia.com/es/proveedores/politicas-generales/category/normas-t%C3%A9cnicas>
- ICONTEC. (2007). NTC 5581 Programas de formación para el trabajo. Mayo 12 de 2019, de Ministerio de educación nacional Sitio web: [https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-157089\\_archivo\\_pdf\\_NTC\\_5581.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-157089_archivo_pdf_NTC_5581.pdf)
- ICONTEC. (2014). NTC. 6072. Julio 7 del 2014. Del Ministerio del Trabajo.
- ICONTEC. (1998). NTC 2050 Código eléctrico colombiano. Marzo 25 de 2019, de Ministerio de desarrollo económico Sitio web: <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/ntc%2020500.pdf>
- INMEL. (2019). Programa de formación de linieros. Mayo 01, 2019, de INMEL Sitio web: <http://www.inmel.com.co/inmel/index.php/asociatividad-i/184-programa-formacion-de-linieros>
- Ministerio de Trabajo. (2012). Resolución 1409. Abril 23 de 2019, de Ministerio de Trabajo Sitio web: [https://www.arlsura.com/files/res1409\\_2012.pdf](https://www.arlsura.com/files/res1409_2012.pdf)
- Ministerio de trabajo. (2017). Resolución 1178. 06 de abril de 2019, de Ministerio de Trabajo Sitio web: [http://normograma.sena.edu.co/normograma/docs/resolucion\\_mtra\\_1178\\_2017.htm](http://normograma.sena.edu.co/normograma/docs/resolucion_mtra_1178_2017.htm)
- Ministerio de Minas y Energía. (2013). Reglamento técnico de instalaciones eléctricas. Marzo 30 de 2019, de Ministerio de minas y energía Sitio web: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RETIE+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13>

- Torrice, I. (2016). Forman linieros para la competitividad eléctrica. Abril 05 de 2019, de Mundo.com Sitio web: <https://www.elmundo.com/portal/resultados/detalles/?idx=279271&idprevia=1>
- Empresa Energía ,P. (2016). Patio de pruebas para linieros! - Convenio SENA. 2020, de Empresa de energía de Pereira Sitio web: [https://www.youtube.com/watch?v=xW1h\\_zdC4qU](https://www.youtube.com/watch?v=xW1h_zdC4qU)
- Cámara de comercio de Medellín. (2016). Escuela de Formación de Linieros. 2020, de Cámara de comercio de Medellín Sitio web: <https://www.camaramedellin.com.co/comunidad-cluster/comunidad-cluster/cluster-energia-sostenible/escuela-de-formacion-de-linieros>
- Comunicaciones Empresa de Energía de Pereira, Sena. (2015). Energía de Pereira y SENA inauguran patio de formación para linieros eléctricos. 2020, de Empresa energía de Pereira Sitio web: <https://www.eep.com.co/noticias/509-energia-de-pereira-y-sena-inauguran-patio-de-formacion-para-linieros-electricos>.
- FEF, agf. (2014). 'Linieros' con nuevos campos de entrenamiento. 2020, de SENA Sitio web: <https://www.sena.edu.co/es-co/Noticias/Paginas/noticia.aspx?IdNoticia=2198>
- Garzon ,A, Tamayo ,P. (2016). Nuevo ambiente de formación para 'linieros'. 2020, de SENA Sitio web: <https://www.sena.edu.co/es-co/Noticias/Paginas/noticia.aspx?IdNoticia=2>