



**Diseño de una subestación eléctrica a  
34.5 kV con un transformador de  
potencia de 500 kVA a 440/254 V para  
la Empresa Bolivariana de Minerales  
Ltda.**

**Cediel, Cristhian Guillermo y Ruiz, John Kenny**

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



# **Diseño de una subestación eléctrica a 34.5 kV con un transformador de potencia de 500 kVA a 440/254 V para la Empresa Bolivariana de Minerales Ltda.**

**Cediel, Cristhian Guillermo y Ruiz, John Kenny**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Electromecánico**

Director (a)

Marta Lucia Solano Moreno

Codirector (a):

Fajardo Prado, Elcy Patricia

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2021



lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser sus hijas, son los mejores padres.

A nuestras hermanas (os) por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.



## **Agradecimientos**

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a nuestros padres por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.





## Resumen

El presente proyecto cuyo objeto es “diseñar y proyectar una subestación eléctrica a 34.5 kV con un transformador de potencia de 500 kVA a 440/254 V para la empresa Bolivariana de Minerales LTDA” donde la metodología de investigación utilizada es cuantitativa puesto que se medirán, calcularán, evaluarán y cuantificarán variables relacionadas a datos que se pueden adquirir por medio de subestaciones eléctricas y sus circuitos para evaluar la eficacia del proyecto.

La empresa bolivariana de minerales no cuenta con una subestación eléctrica adecuada para sus necesidades energéticas, lo cual conlleva a una dificultad para su actividad económica.

De acuerdo con la revisión de la literatura se puede concluir, que, para el diseño de una subestación eléctrica, se deben tener en cuenta norma NTC 2050 y Retie; las cuales dan garantía en las instalaciones, equipos y productos usados en toda la generación, transmisión, transformación, distribución y uso final de la energía eléctrica cumplan con todos los objetivos legítimos con la protección de la vida y la salud humana; vida animal y vegetal.

Las condiciones identificadas en la empresa Bolivariana según la revisión realizada, la capacidad total instalada es de 454.46 kVA, la cual cuenta con transformador de 300 kVA con un nivel de tensión de 13,200 V.

Con los estudios realizados, se calculó un transformador de 500 kVA aumentando el nivel de tensión a 34,5 kV para disminuir el costo de kW/h. lo cual nos brinda una mayor confiabilidad.

**Palabras Clave:** Infraestructura eléctrica, productividad, circuitos, costos, transformador de potencia.

## Abstract

The present project whose objective is "to design and project a 34.5 kV electrical substation with a 500 kVA power transformer at 440/254 V for the Bolivariana de Minerales LTDA company" where the research methodology used is quantitative since they will be measured, They will calculate, evaluate and quantify variables related to data that can be acquired through electrical substations and their circuits to evaluate the effectiveness of the project.

The Bolivarian mineral company does not have an adequate electrical substation for its energy needs, which leads to a difficulty for its economic activity.

According to the literature review, it can be concluded that, for the design of an electrical substation, the NTC 2050 and Retie standards must be taken into account; which guarantee that the facilities, equipment and products used in all the generation, transmission, transformation, distribution and final use of electric energy comply with all the legitimate objectives with the protection of life and human health; animal and plant life.

The conditions identified in the Bolivarian company according to the review carried out, the total installed capacity is 454.46 kVA, which has a 300 kVA transformer with a voltage level of 13,200 V.

With the studies carried out, a 500 kVA transformer was calculated increasing the voltage level to 34.5 kV to reduce the cost of kW / h. which gives us greater reliability.

**Keywords:** Electrical infrastructure, productivity, circuits, costs, power transformer.

# Contenido

	Pag.
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>X</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>15</b>
Planteamiento del problema: .....	17
Objetivo General: .....	17
Objetivos específicos: .....	17
Justificación: .....	18
Alcance:.....	18
Planteamiento Metodológico.....	18
<b>1. Marco Teórico</b> .....	<b>20</b>
1.1. Antecedentes .....	20
1.1.1. Cálculo de Banco de Condensadores.....	20
1.1.2. Análisis de Coordinación de Aisladores Eléctricos.....	20
1.1.3. Análisis de Cortocircuito y Falla a Tierra .....	20
1.1.4. Análisis de Riesgos de Origen Eléctrico y Medidas para Mitigarlos .....	21
1.1.5. Análisis Del Nivel Tensión Requerido .....	21
1.1.6. Cálculo De Campos Electromagnéticos .....	21
1.1.7. Cálculo de Transformadores Incluyendo los Efectos de los Armónicos y Factor de Potencia en la Carga.....	21
1.1.8. Cálculo Del Sistema De Puesta A Tierra.....	21
1.1.9. Cálculo Económico De Conductores.....	22
1.1.10. Verificación De Los Conductores.....	22
1.1.11. Cálculo Mecánico De Estructuras Y De Elementos De Sujeción De Equipos. 22	22
1.1.12. Cálculo Y Coordinación De Protecciones. ....	22
1.1.13. Cálculos de Canalizaciones (Tubo, Ductos, Canaletas y Electroductos) y Volumen de Encerramientos (Cajas, Tableros, Conduletas, Etc.). ....	23
1.1.14. Centro de Trasformación de 34.5 kV y Celda Seccionadora Tripolar en Sf6 Para Entrada y Salida .....	23
1.2. Estado del Arte.....	23
1.3. Normatividad y marco legal .....	26

1.3.1. NTC 2050.....	26
1.3.2. Retie.....	27
<b>2. Propuesta de Diseño .....</b>	<b>28</b>
2.1. Ubicación, geográfica .....	28
2.2. Parámetros De Diseño.....	29
2.2.1. Análisis y resultados.....	29
2.2.2. Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos. ....	29
2.2.3. Cálculo De Banco De Condensadores .....	33
2.2.4. Análisis de Coordinación de Aislamiento Eléctrico .....	35
2.2.5. Análisis de Cortocircuito y Falla a Tierra.....	39
2.2.6. Análisis Del Nivel Tensión Requerido.....	46
2.2.7. Cálculo De Campos Electromagnéticos .....	46
2.2.8. Cálculo De Transformadores.....	46
2.2.9. Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra.....	48
2.2.10. Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra.....	50
2.3. Parámetros De Diseño.....	50
2.3.1. Cálculo Económico De Conductores .....	54
2.3.2. Verificación De Los Conductores, Teniendo En Cuenta El Tiempo De Disparo De Los Interruptores .....	58
2.4. Cálculo Mecánico De Estructuras Y De Elementos De Sujeción De Equipos....	61
2.4.1. Cálculo y Coordinación de Protecciones Contra Sobre corrientes. ....	64
2.4.2. Cálculos de Canalizaciones (Tubo, Ductos, Canaletas y Electroductos) .....	67
2.4.3. Cálculos de Pérdidas de Energía, Teniendo en Cuenta los Efectos de Armónicos y Factor de Potencia. ....	69
2.4.4. Centro De Trasformación De 34.5 kV Y Celda Seccionadora Tripolar En Sf6 Para Entrada Y Salida .....	70
2.4.5. Clasificación De Áreas. ....	72
2.4.6. Elaboración De Planos Y Esquemas Eléctricos Para Construcción.....	72
2.4.7. Especificaciones De Construcción Complementarias.....	72
2.4.8. Establecer Las Distancias De Seguridad Requeridas.....	72
2.4.9. Justificación Técnica De Desviación De La NTC 2050 .....	72
2.4.10. Los Demás Estudios Que El Tipo De Instalación.....	72
Requiera Para Su Correcta Y Segura Operación, Tales Como Condiciones Sísmicas, Acústicas, Mecánicas O Térmicas.....	72
2.4.11. Costos del Proyecto .....	73
<b>3. Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>75</b>
3.1. Conclusiones .....	75
Recomendaciones.....	76
Anexos .....	77
<b>Bibliografía .....</b>	<b>81</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1: Ubicación geográfica en 3D de la planta Bolivariana de Minerales.....	28
Figura 2: Factor de Potencia .....	34
Figura 3: Diagrama de conexión de condensadores en paralelo .....	34
Figura 4: Esquema de medición de resistividad aparente.....	49
Figura 5: : Corto circuito para cables aislado de cobre .....	59
Figura 6: Curva BT .....	67
Figura 7: Para cálculos de ductos de 6 pulgadas .....	68

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1: Cargas de la planta de producción ion. ....	30
Tabla 2: Cuadro de Cargas de la Empresa Bolivariana de Minerales.....	31
Tabla 3: Características técnicas de los monoplares.....	36
Tabla 4: Características Técnicas de los Aislador Polimérico.....	38
Tabla 5: Cálculos De Factor De Riesgo Por Rayos (Metodología Ntc 4542) .....	40
Tabla 6: Cálculos de Transformador .....	46
Tabla 7: Dimensionamiento del transformador .....	47
Tabla 8: Corrientes suministradas por ELECTROHUILA.....	50
Tabla 9: Datos para diámetro de conductor MT .....	50
Tabla 10: Cálculo de malla a tierra.....	52
Tabla 11: Cálculo regulación en media tensión.....	54
Tabla 12: Características de los conductores.....	55
Tabla 13: Dimensiones económico ambiental de conductores .....	57
Tabla 14: Datos generales .....	57
Tabla 15: Carga mínima de rotura.....	61
Tabla 16: Trabajo.....	62
Tabla 17: Deformación.....	62
Tabla 18: Normas de fabricación y pruebas .....	63
Tabla 19: Coordinaciones de protecciones .....	64
Tabla 20: Datos del transformador .....	66
Tabla 21: Corriente en media tensión .....	66
Tabla 22: Baja tensión .....	66
Tabla 23: Protección de baja tensión .....	67
Tabla 24: Cálculos de ductos de 3 pulgadas.....	69
Tabla 25: Características técnicas del seccionador tripolar SF6 .....	70
Tabla 26: Costos del Proyecto .....	73

# Introducción

En el entorno industrial la rentabilidad y un mayor rendimiento en el proceso de producción y extracción, exigen soluciones que aumenten la productividad con menos recursos; Incluida bajo la etiqueta de recursos esta la necesidad de reducir el gasto de energía y de optimizar al mismo tiempo las tasas de producción mediante la implementación de subestaciones eléctricas de acuerdo a las necesidades de la industria.

Una subestación eléctrica es una instalación que forma parte de un sistema eléctrico de potencia. Su objetivo principal es modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica para facilitar la transmisión, distribución y uso final de la energía.

Analizando el estudio del centro de información y gestión tecnológica CIGET (2013), se logra puntualizar nuevos elementos para tener en cuenta en la evaluación técnico-económica de las instalaciones de una nueva subestación. Dichos elementos presentan nuevos diseños de redes de distribución, que producen un ahorro por concepto de reducción en pérdidas técnicas.

Tomando como referencia la tesis de grado elaborada por Sergio Iván Salamanca Gaviria (2016), se logra evidenciar que para la mayoría de los estudios eléctricos es posible aplicar más de una metodología, dependiendo de la intensidad y contexto, esta conclusión podría denotar factores positivos y negativos; pues, aunque algunos métodos facilitan los cálculos, no todos llegan a ser aceptados por las electrificadoras. En este sentido, un mismo método podría llegar a no ser aceptado por todos los operadores de red. Los procesos metodológicos mostrados en el presente documento son claros, efectivos y así mismos aprobados en más de una ocasión. Sin embargo, el visto bueno para la selección de cada una de las memorias de cálculo y/o de plano dependerá del ingeniero revisor. Dicho esto, se tiene que el planteamiento del problema es que. El grupo de investigación junto con el semillero de investigación Barión en su trabajo para la caracterización de las subestaciones

eléctricas de transmisión y distribución que hagan parte del SIN, STR o del SDL dentro de la región central (Cundinamarca, Boyacá, Tolima, Meta, y Bogotá DC), como parte del convenio 064 del 2018 manifiesta que en los últimos años el reto de las empresas del sector eléctrico en el mundo ha sido poder incorporar desarrollos tecnológicos a sus instalaciones para mejorar el servicio de suministro de energía a sus clientes, procurando siempre las mejores condiciones de calidad y precio.

La mayor parte de las subestaciones en Colombia son controladas mediante un sistema de automatización. Teniendo en cuenta los sistemas que están enfocados en optimizar el manejo y operación de una subestación con escasa intervención del personal operativo, es necesario que evolucione de una forma simultánea con el avance tecnológico, de tal forma que permita reducir el uso de componentes o equipos distintos. Esto se podría lograr mediante la implementación y diseño de subestaciones adecuadas para la industria, lo cual reduzcan costos en mantenimientos y en kW/h siendo más factible para las empresas y/o clientes.



## Planteamiento del problema:

La empresa Bolivariana de Minerales, la cual se ubica geográficamente en el sector rural del municipio de Palermo – Huila (específicamente en el kilómetro 2 vía Neiva – Palermo, vereda oriente) tiene como actividad económica la trituración de roca tipo dolomita. Para realizar el proceso, esta empresa trabaja en un nivel de tensión de 13.200 kV con un transformador de potencia de 225 KVA y con una salida de 254/127 V. Esto conlleva a que la empresa asuma costos superiores a los proyectados, lo cual provoca un déficit facturando el kW/h en 467 pesos según Electrohuila (2019) teniendo un costo mensual promedio de \$ 15'878.000 pesos. Actualmente en el año 2020, el kW/h, para usuario regulado con nivel de tensión de 13.200 Kv está en 539 pesos con un costo mensual de \$ 18'326.000. Es decir que la Bolivariana de Minerales LTDA está presentando una dificultad para poder ejercer su actividad económica ya que con los elevados costos del Kvh su actividad es muy poco rentable.

A partir de lo sustentado anteriormente surge la siguiente pregunta de investigación.  
¿Cómo el diseño de una subestación eléctrica a 34.5 kV con un transformador de potencia de 500 KVA a 440/254 V tiene un beneficio en la productividad de la empresa Bolivariana de minerales?

## Objetivo General:

Diseñar y proyectar una subestación eléctrica a 34.5 kV con un transformador de potencia de 500 KVA a 440/254 V para la empresa Bolivariana de Minerales LTDA.

## Objetivos específicos:

1. Realizar la revisión de la literatura y la normatividad con respecto al diseño de la subestación eléctricas.
2. Identificar las condiciones actuales del sistema eléctrico de la empresa Bolivariana de Minerales.
3. Diseñar y calcular para la línea de media tensión y así mismo para la subestación para la empresa Bolivariana de Minerales.

## Justificación:

En cada empresa es fundamental mantenerse al corriente de los avances tecnológicos, los cuales, mediante ideas innovadoras, permiten mejorar los procesos de producción. Es fundamental ya que la balanza de producción-oferta-demanda debe de estar equilibrada acorde a los cambios anuales que cada componente podría padecer. Por lo tanto, este proyecto basa su relevancia y justificación bajo este concepto, ya que intervendrá en la balanza de la empresa Bolivariana de Minerales reestructurándola al implementar una subestación eléctrica de acuerdo con sus necesidades actuales.

Además de lo anteriormente expuesto, en este proyecto también abarca el uso de la creatividad y conocimientos adquiridos de estudiantes de Ingeniería Electromecánica para el disfrute y mejoramiento del uso de fuentes eléctricas en empresas dando paso a una retroalimentación de ambas partes.

## Alcance:

La trascendencia de este trabajo de grado radica en concientizar y demostrar a empresas las necesidades de conocer cada punto de su proceso de producción e ir pensando regularmente como puede mejorarlo, con el fin de incrementar los beneficios económicos. Es decir, con esta investigación las empresas que manejan una compleja infraestructura eléctrica para la producción, podrán tener una idea de cómo mejorarla su producción y así implementar avances tecnológicos.

Además de lo anteriormente dicho, los ingenieros electromecánicos que están involucrados en empresas de producción con fuentes eléctricas podrán evidenciar la importancia y ventajas de estar siempre dispuestos a la mejora de sus instalaciones y lugares de trabajo.

## Planteamiento Metodológico

El desarrollo del proyecto se centra en 3 etapas; las cuales estarán en función de dar cumplimiento de los objetivos específicos.

**Etapas 1:** Revisión de la literatura y la normatividad con respecto al diseño de la subestación eléctrica.

Esta etapa se consultará las normas RETIE NTC 2050 así mismo normas de diseños exigidas por la empresa prestadora del servicio la cual es Electrohuila.

**Etapas 2:** Condiciones actuales del sistema eléctrico de la empresa Bolivariana de Minerales.

En esta etapa se realizará las siguientes actividades. Inventario de equipos eléctricos de la empresa.

# **1. Marco Teórico**

Para diseñar el siguiente proyecto se consultaron diferentes fuentes bibliográficas, que permitieran obtener los conocimientos de diseños, cálculos y normatividad requerida para su desarrollo

## **1.1. Antecedentes**

Para determinar el cuadro de cargas en la planta de producción de Bolivariana De Minerales, se realiza levantamiento de las cargas instaladas y en funcionamiento.

### **1.1.1. Cálculo de Banco de Condensadores**

Los condensadores de potencia conectados en paralelo a un equipo especial o a la carga que supone una instalación industrial compleja, representan una carga reactiva de carácter capacitivo, que toma corrientes desfasadas 90° en adelanto con respecto al voltaje. Estas corrientes, al hallarse en oposición de fase con respecto a las corrientes reactivas de tipo inductivo, tienen por efecto reducir la corriente reactiva total que consume la instalación eléctrica en cuestión.

### **1.1.2. Análisis de Coordinación de Aisladores Eléctricos**

Dado que el proyecto se construye con estructuras normalizadas por Electrohuila para media y baja tensión, se garantiza que la coordinación de aislamiento se utilizará estructuras que cumplen con los aisladores y las distancias adecuadas para el nivel de tensión.

### **1.1.3. Análisis de Cortocircuito y Falla a Tierra**

El cálculo de las tensiones de falla a tierra se presenta en el ítem I de esta memoria de cálculo; adicionalmente se procede a determinar la capacidad interruptiva de los dispositivos de protección para cada elemento de la red eléctrica, con estos valores

obtenidos se realizará la coordinación de protecciones correspondiente para el sistema eléctrico del proyecto desarrollado.

#### **1.1.4. Análisis de Riesgos de Origen Eléctrico y Medidas para Mitigarlos**

En este análisis se obtienen las diferentes escalas de riesgo eléctrico para el diseño y sus medidas de mitigación, para dar cumplimiento a las normas de seguridad establecidas en la NTC 2050 y RETIE.

#### **1.1.5. Análisis Del Nivel Tensión Requerido**

Con este análisis se obtendrá el nivel de tensión requerido para el desarrollo del proyecto el cual tendrá la siguiente especificación:

Redes de distribución por MT a 34,5 kV para la conexión del transformador

Redes de baja tensión a 440/254V para la conexión de acometidas a los distintos tableros.

#### **1.1.6. Cálculo De Campos Electromagnéticos**

Para Asegurar Que, En Espacios Destinados A Actividades Rutinarias De Las Personas, No Se Superen Los Límites De Exposición.

#### **1.1.7. Cálculo de Transformadores Incluyendo los Efectos de los Armónicos y Factor de Potencia en la Carga**

Este análisis se realiza para obtener los efectos de armónicos del transformador para determinar su influencia en el equipo.

Dada la naturaleza de las cargas, no se tiene en cuenta el efecto de los armónicos de la empresa Bolivariana de Minerales Municipio de Palermo.

#### **1.1.8. Cálculo Del Sistema De Puesta A Tierra.**

Los objetivos del sistema de puesta a tierra (SPT) son; obtener las tensiones de paso y contacto dentro de los márgenes que garanticen la seguridad de las personas, la disipación

de las corrientes de corto circuito la protección de las instalaciones y la compatibilidad electromagnética.

### **1.1.9. Cálculo Económico De Conductores.**

Teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.

De acuerdo con las normas ELECTROHUILA, se debe utilizar conductor XLPE 36 KV CU calibre # 1/0 AWG para la red subterránea de media tensión.

Que no se supera el límite máximo regulación de tensión a nivel de 34,5

kV: (3%). En este proyecto el tramo de L.M.T 34,5 KV es de 4 mts.

### **1.1.10. 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.

Al tener selectividad de dispositivos de protección contra sobrecorrientes, si ocurre una condición de falla en cualquier punto del sistema de distribución, esta será despejada por el dispositivo de protección inmediatamente aguas arriba de la falla, así mismo los conductores están diseñados para la corriente nominal del sistema. De igual forma las protecciones actúan antes de que se supere la máxima corriente de cortocircuito para el cable de cobre.

### **1.1.11. Cálculo Mecánico De Estructuras Y De Elementos De Sujeción De Equipos.**

Dado que el proyecto se construye con estructuras normalizadas por ELECTROHUILA para media y baja tensión, se garantiza que las estructuras y elementos de sujeción de equipos ya cuentan con los cálculos necesarios para su correcta operación, por tal motivo no se trata este ítem en la presente memoria de cálculo.

### **1.1.12. Cálculo Y Coordinación De Protecciones.**

Contra Sobrecorrientes. En Baja Tensión Se Permite La Coordinación Con Las Características De Limitación De Corriente De Los Dispositivos Según IEC 60947-2.

### **1.1.13. Cálculos de Canalizaciones (Tubo, Ductos, Canaletas y Electroductos) y Volumen de Encerramientos (Cajas, Tableros, Conduletas, Etc.).**

Para el cálculo de volumen ocupado por los conductores en una canalización, se debe conocer las áreas de sección transversal de los conductores, y el total de conductores que van por la ductería, para ello se referencia a la tabla 5 del capítulo 9 de la NTC 2050.7

### **1.1.14. Centro de Transformación de 34.5 kV y Celda Seccionadora Tripolar en Sf6 Para Entrada y Salida**

En este proyecto se implantará un seccionador tripolar en SF6 de entrada y salida de tipo interior de la marca SAREL, la implementación de este equipo se hace ya que tiene un nivel de seguridad excelente para el personal que lo valla a operar lo cual es fundamental porque la seguridad es el pilar de la norma Retie.

## **1.2. Estado del Arte.**

Los transformadores de potencia son dispositivos electrostáticos de Corriente Alterna (AC), capaces de aumentar o disminuir el nivel de tensión manteniendo, así mismo, su frecuencia y potencia [3]. Estos transformadores, adquieren relevancia al disminuir las pérdidas de tensión en las subestaciones eléctricas. Las cuales, alimentan las diversas ramificaciones de circuitos eléctricos, aportando: confiabilidad, modularidad y flexibilidad, entre los circuitos asociados a las subestaciones.

En este proyecto se diseña una subestación eléctrica a un nivel de tensión de 34.5 kV, con un transformador de 500 kVA. Con el cual, se realiza un análisis de confiabilidad y flexibilidad en la subestación implementada en la empresa Bolivariana de Minerales LTDA. Teniendo en cuenta la capacidad de los equipos de instrumentación tales como: Transformador de Corriente(CT), Transformador de Potencial (PT), seccionamientos, fusibles tipo botella, tableros de distribución, banco de condensadores, entre otros. Para una evaluación apropiada en la implementación de la subestación eléctrica[4].

Por ende, este proyecto contribuye a aumentar la rentabilidad de la empresa. Debido a, que la tensión de salida es directamente proporcional a la productividad, e inversamente proporcional a tarifas de distribución eléctricas de empresas de servicios públicos. Tales como, la Electrificadora del Huila S.A. [2]. Puesto que, las bajas tensiones de voltaje son

comerciales en las urbanizaciones; teniendo un costo elevado para el consumidor. En cambio, a media tensión son tipo industrial; teniendo un menor costo en el mercado.

En [3], G. Segura, contempla las mejoras técnicas y operativas en la subestación 20 de julio de la ciudad de Barranquilla. El autor utiliza el programa DIGSILENT, con el fin, de verificar y observar el funcionamiento de los escenarios simulados. Se establece parámetros significativos que contribuyan a la mejora de las condiciones del servicio de energía eléctrica en el sector correspondido por la subestación, permitiendo mejorar el flujo de carga en nodos de distribución secundaria, por consiguiente, la mejora en el servicio de energía eléctrica en los barrios pertenecientes a estos circuitos. Al analizar la subestación, se concluye que no es una subestación confiable ya que no puede mantener el suministro de energía bajo la condición de que al menos un componente de la ella pueda repararse durante la normal operación y tampoco ofrece flexibilidad si uno de sus elementos más importantes como los transformadores de potencia saldrían por una falla. También esta subestación con base a los análisis realizados tiene inconvenientes con su modularidad debido que no es posible cambiar su configuración cuando sus necesidades así lo requieran para mantener el suministro de energía. Mejoras técnicas y operativas [3] cálculo en el diseño de subestaciones eléctricas. [4] Demostrar la factibilidad técnica y económica de la ampliación de una subestación de operación [5]

En [5] Abreus O. Este proyecto refleja la necesidad de mejorar la calidad del fluido eléctrico en el municipio Rodas, un aspecto que obliga a disponer de sistemas más flexibles y seguros que garanticen el menor tiempo de interrupción posible; pues la operación de su red de 34,5 kV se hace muy compleja.

Este proyecto plasma las variantes de operación con pérdidas mínimas de la red de un circuito a 34,5 kV y la cargabilidad de las subestaciones comprometidas con la propuesta de una Subestación 110/34,5 KV en el Consejo Popular Cartagena.

Gómez L. Plantea las problemáticas en los alimentadores 1615, 1610 ubicados en la subestación Carlos Manuel de Céspedes(CMC) municipio Cienfuegos provincia Cienfuegos y el 333 ubicado en la subestación La Moza municipio Manicaragua provincia Villa Clara; Las cargas al final del circuito, no tienen respaldo de barra, lo cual implica pérdidas de potencia y caída de tensión, en lo que impide tener confiabilidad; en el municipio de Cumanayagua, la alimentación de 110 kV de la Moza, tiene un soporte de madera muy antiguo y el corredor Hanabanilla – Moza –Santa Clara con difícil acceso para dar mantenimientos, afectando la calidad del servicio [6].



Plantea una propuesta, implementar una subestación (SE 110/34,5 kV) en la línea de subtransmisión (34,5 kV) ubicada entre, la CMC, la zona afectada y la zona de desarrollo, en el consejo popular Pepito Tey, seleccionado por sus condiciones topológicas y situación geográfica, garantizando a los consumidores, continuidad, confiabilidad del servicio eléctrico y generar ahorros como idea principal.

Barrera H. Realiza el diseño de una subestación tipo de distribución de 16 MVA 69/13,8 kV y aplicación a la nueva subestación Totoras de la Empresa Eléctrica Ambato; Para ser implementado en el área de concesión de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., tomando en cuenta la incidencia de la implementación de las cocinas de inducción y la necesidad de diseñar y construir nuevas subestaciones de distribución. [7] La metodología del proyecto se basa en el estudio del sistema eléctrico, ubicación para nuevas subestaciones, requerimientos de funcionamiento y futura expansión del sistema eléctrico. El estudio de la subestación tipo es aplicado en la nueva subestación Totoras de la Empresa Eléctrica Ambato.

Laverde V. Presenta un diseño de ingeniería básica de una subestación eléctrica de la "Planta de Acondicionamiento de Gas para el Mercado Interno" (PAGMI) en el "Complejo Industrial Gran Mariscal de Ayacucho" (CIGMA) que estará localizado en el Este de la región oriental, en la península de Paria, en la jurisdicción del Municipio Valdez del estado Sucre, adyacente al poblado de Guiria. El circuito alimentador viene de la sub-estación eléctrica de 34,5 kV a través de dos (2) líneas de 34,5 kV cada una, las cuales estarán conectadas a un par de transformadores de 34,5 kV – 4,16 kV, localizados en el área de procesos[8]. La subestación eléctrica provee energía a dos trenes de gas deshidratados de 600 MMSCFD cada uno (con previsiones de añadir un tren adicional), y este estará compuesto por un interruptor de 4,16 kV, con un esquema secundario el cual alimentará todos los motores de carga de media tensión junto a 4 transformadores de energía. Estos transformadores de tensión reducirán el nivel de tensión de 4,16 kV a 0,48 kV y estarán conectados en pares a dos (2) centros de distribución de energía, con esquemas secundarios selectivos, los cuales alimentarán a un total de 5 motores del centro de control, los cuales trabajan con baja tensión [9].

Rivero P. Realiza un inventario del estado actual de la red de 34,5 kV de la provincia de Cienfuegos en su parte más comprometida para la conexión de los PSFV Cantarrana y el nuevo Proyecto del Cárnico, además explica las posibles conexiones de las variantes a realizar, partiendo de la necesidad del trabajo. En el estudio se utilizan software como el Radial, Excel y otras normativas e indicaciones implementadas por INEL y la dirección de

la UNE. Luego se hace un análisis del comportamiento de la red en las diferentes variantes de conexión de los parques, hasta llegar a la comparación con la situación actual, con la que se declara la mejor variante a tomar desde el punto de vista técnico.

Por último, se determina el ahorro del nuevo proyecto PSFV Cárnico, en cuanto a los niveles de gases contaminantes dejados de emitir a la atmósfera y se realiza la comparación de las variantes antes mencionadas desde el punto de vista económico, para mostrar la mejor de ellas en forma integral. Se llega a importantes conclusiones y se ofrecen recomendaciones para trabajos futuros [10].

Correa W. en 2016 realizó un estudio que tendrá por objeto, analizar y evaluar los diferentes procedimientos que la empresa EDEC S.A, tiene en cuenta dentro de la detección de pérdidas no técnicas presentes en las etapas de distribución y comercialización. Se abordarán los diferentes tipos de medidas y pruebas que son usadas en la detección de las mismas.

Las pérdidas de energía que ocurren a lo largo de la cadena del sistema eléctrico representan una medida clave de su eficiencia. En términos generales estas pérdidas dan cuenta de la diferencia entre la electricidad disponible para consumo final y la energía facturada a los usuarios finales. Las pérdidas en el transporte de la electricidad constituye una medida de la eficiencia técnica del sistema, mientras que las vinculadas a factores no técnicos reflejan la eficiencia operativa de las empresas de suministro eléctrico [11].

### **1.3. Normatividad y marco legal**

En el siguiente proyecto se deberá cumplir las normas pre-establecidas para dicho diseño y cálculos de una subestación eléctrica a un nivel de tensión de 34.5 kV, Dichas normas son parámetros fundamentales para mitigar los factores de riesgo y ofrecer una mayor confiabilidad; para que este concepto legal sea útil a las personas que lo investigue.

#### **1.3.1. NTC 2050**

La norma técnica colombiana NTC 2050 busca garantizar las instalaciones, equipos y productos usados en toda la generación, transmisión, transformación, distribución y uso final de la energía eléctrica cumplan con todos los objetivos legítimos con la protección de la vida y la salud humana; vida animal y vegetal[36].

### **1.3.2. Retie**

El Retie (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas) es un documento técnico-legal para Colombia expedido por el ministerio de Minas y energía.

En el podemos encontrar los parámetros más importantes que deben ser tenidos en cuenta al momento de diseñar, construir, mantener y modificar una instalación eléctrica en Colombia de la manera más segura posible, si bien este RETIE no se trata de una guía de diseño eléctrico ya que esta labor debe sr llevada a cabo por personal competente que ponga en práctica los cálculos e ingeniería necesaria según lo establecido en el, es importante tener en cuenta que este es de “OBLIGATORIO” cumplimiento en este país [35].

## 2. Propuesta de Diseño

### 2.1. Ubicación, geográfica

El proyecto se ubica geográficamente en el sector rural del municipio de Palermo. Específicamente en el km 2 vía Neiva-Palermo, vereda Oriente, como se especifica en la figura 1.

Figura 1: Ubicación geográfica en 3D de la planta Bolivariana de Minerales



Fuente: Google Maps

La empresa bolivariana de minerales es la directa beneficiada con el desarrollo de este proyecto ya que, con los cálculos, los diseños y los estudios de normatividad realizados podrá contar con un diseño para su subestación, la cual supla sus necesidades en el área eléctrica, para desarrollar su actividad económica.

Otras poblaciones beneficiadas con este proyecto son los estudiantes de la Universidad Antonio Nariño y cualquier persona que necesite los lineamientos para la construcción y diseños de una subestación en media tensión.

## **2.2. Parámetros De Diseño**

En relación con este diseño se ha tenido en cuenta que debe cumplir con la reglamentación vigente respecto al tipo de estructura, cada producto eléctrico a utilizar debe poseer certificado de producto vigente bajo RETIE expedido por un organismo de certificación de producto acreditado por ONAC para expedir este tipo de documentos, cumplir con las condiciones técnicas requeridas. Los códigos de las estructuras son tomados de las normas de construcción Electrohuila. Para construcción de las puestas a tierra se debe aplicar el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE versión 2013, el Código Eléctrico Colombiano norma NTC 2050 y normas técnicas colombianas aplicables (NTC). Para este proyecto se acordó fijar los siguientes parámetros que serán el punto de partida para la realización de un diseño óptimo.

En el presente capítulo se tratará de los cálculos, normas y elementos requeridos para la instalación de una subestación eléctrica en la planta de producción de la empresa BOLIVARIANA DE MINERALES.

### **2.2.1. Análisis y resultados**

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

Para el proyecto se toma no significativo el efecto de los armónicos, por lo tanto, no se calcula y se concluye que esta parte del cálculo no aplica. Se alimentarán los tableros existentes de centros de motores.

• **Antecedentes**

Para determinar el cuadro de cargas en la planta de producción de Bolivariana De Minerales, se realiza levantamiento de las cargas instaladas y en funcionamiento, las cuales se relacionan en la tabla 1

Tabla 1: Cargas de la planta de producción ion.

Tipo de equipo	HP	Unidad
<b>Motor de trituración</b>	50	1
<b>Motor clasificador</b>	50	4
<b>Motor clasificador</b>	40	1
<b>Motor de ventilador</b>	10	5
<b>Motor de ciclón</b>	10	4
<b>Motor de compresor</b>	10	3
<b>Motor de elevador</b>	5	1
<b>Motor de separador</b>	5	1
<b>Motor de separador</b>	3	3
<b>Motor de filtro</b>	2	3
<b>Motor de alimentador</b>	2	2
<b>TOTAL</b>	439	28

Fuente: [22]

En la tabla 1 obtenemos la cantidad de motores y los HP totales instalados en la empresa.

Para poder comenzar a realizar iniciar los cálculos determina el amperaje de cada motor y así mismo los kVA; con esta información se calcula el transformador, conductores y protecciones.

Para el cálculo de amperaje en motores utilizamos las ecuaciones:

$$I_{AC3\phi} = \frac{HP * 746}{\sqrt{3} x v_{L-L} * \%E_{Fx} Fp}$$

$$I_{AC3\phi} = \frac{50 * 746}{\sqrt{3} x 440 * 0.8 x 0.9} = 67.97 A$$

HP = caballos de fuerza

$v_{L-L}$  = voltaje de línea

$\%E_{Fx}$  = factor de eficiencia

$Fp$  = factor de potencia

Los kVA de los motores utilizamos se obtiene con la siguiente expresión: Con este dato obtenemos la capacidad requerida para el proyecto.

$$kVA_{(3\phi)} = \frac{\sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_{AC}}{1000} \quad (1.3)$$

$$kVA_{(3\phi)} = \frac{\sqrt{3} * 440 * 67.97}{1000} = 51.80$$

Tabla 2: Cuadro de Cargas de la Empresa Bolivariana de Minerales

<b>CUADRO DE CARGAS- BOLIVARIANA DE MINERALES - MUNICIPIO DE PALERMO</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>KVA TOTAL</b>	<b>CORRIENTE AMP.</b>	<b>PROTECCION AMP.</b>	<b>CONDUCTOR AWG</b>	<b>DUCTO PULGADAS</b>
<b>BODEGA 1</b>					
<b>TRITURACION</b>					
<b>Trituradora</b>	51,80	67,97	3 x 70	2	<b>2</b>
<b>Elevador</b>	5,17	6,97	3 x 10	12	½
<b>Alimentador</b>	2,06	2,71	3 x 10	12	½
<b>Alimentador</b>	2,06	2,71	3 x 10	12	½
<b>MOLINO 1</b>					
<b>Clasificador</b>	51,80	67,97	3 x 70	2	<b>2</b>
<b>Vent. Principal</b>	10,34	13,59	3 x 20	10	½
<b>Valv. Separador</b>	3,10	4,07	3 x 10	12	½
<b>Ciclón</b>	10,34	13,59	3 x 20	12	½

<b>Filtro Motor</b>	2,06	2,71	3 x 10	12	½
<b>Compresor</b>	10,34	13,59	3 x 20	12	½
<b>BODEGA 2 MOLINO 2</b>					
<b>Clasificador</b>	41,44	54,38	3 x 60	2	<b>2</b>
<b>Vent. Principal</b>	10,34	13,59	3 x 20	10	½
<b>Valv. Separador</b>	3,10	4,07	3 x 10	12	½
<b>Cicló</b>	10,34	13,59	3 x 20	12	½
<b>Filtro Motor</b>	2,06	2,71	3 x 10	12	½
<b>Compresor</b>	10,34	13,59	3 x 20	12	½
<b>MOLINO RAYMOND 3</b>					
<b>Clasificador</b>	51,80	67,97	3 x 70	2	<b>2</b>
<b>Vent. Principal</b>	10,34	13,59	3 x 20	10	½
<b>Valv. Separador</b>	3,10	4,07	3 x 10	12	½
<b>Ciclón</b>	10,34	13,59	3 x 20	12	½
<b>Filtro Motor</b>	2,06	2,71	3 x 10	12	½
<b>Compresor</b>	10,34	13,59	3 x 10	12	½
<b>BODEGA 3</b>					
<b>SECAMIENTO</b>					
<b>Clasificador</b>	51,80	67,97	3 x 70	2	<b>2</b>
<b>Vent. Principal</b>	10,34	13,59	3 x 10	10	½
<b>Valv. Separador</b>	5,17	6,79	3 x 10	12	½
<b>Ciclón</b>	10,34	13,59	3 x 20	12	½
<b>MEZCLAS</b>					
<b>Clasificador</b>	51,80	67,97	3 x 70	2	<b>2</b>
<b>Vent. Principal</b>	10,34	13,59	3 x 20	12	½
<b>total</b>	<b>454,46</b>	<b>596,29</b>			

Fuente: [2]



En Tabla 1: Cuadro De Cargas de La Empresa Bolivariana de Minerales nos proporciona los datos de los kVA totales y la corriente de todos los motores lo cual es fundamental para poder comenzar al realizar los cálculos de diseño.

### 2.2.3. Cálculo De Banco De Condensadores

Un bajo factor de potencia en una instalación industrial implica un consumo alto de corrientes reactivas y, por tanto, el riesgo de incurrir en pérdidas excesivas y sobrecarga en los equipos eléctricos y líneas de transmisión y distribución.

En la mayoría de los casos, una forma sencilla y económica de resolver estos inconvenientes y de obtener un ahorro considerable, es instalar capacitores de potencia, ya sea en alta o en baja tensión.

Los condensadores de potencia conectados en paralelo a un equipo especial o a la carga que supone una instalación industrial compleja, representan una carga reactiva de carácter capacitivo, que toma corrientes desfasadas 90° en adelante con respecto al voltaje. Estas corrientes, al hallarse en oposición de fase con respecto a las corrientes reactivas de tipo inductivo, tienen por efecto reducir la corriente reactiva total que consume la instalación eléctrica en cuestión.

Para realizarse los cálculos del banco de condensadores nos basamos en el libro de Instalaciones Eléctricas de Carlos Mario Diez Henao el cual se toman las siguientes ecuaciones.

Para calcular la potencia efectiva (W).

$$kVA = 500$$

$$FP = 0,9$$

P = potencia efectiva

$$kW = \frac{v \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot fp}{1000}$$

$$kW = \frac{440 \cdot 656,8 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,9}{1000}$$

$$kW = 450$$

Donde

V = voltaje

I = corriente

$fp$  = factor de potencia

Para obtener el cálculo la potencia reactiva utilizamos la siguiente ecuación.

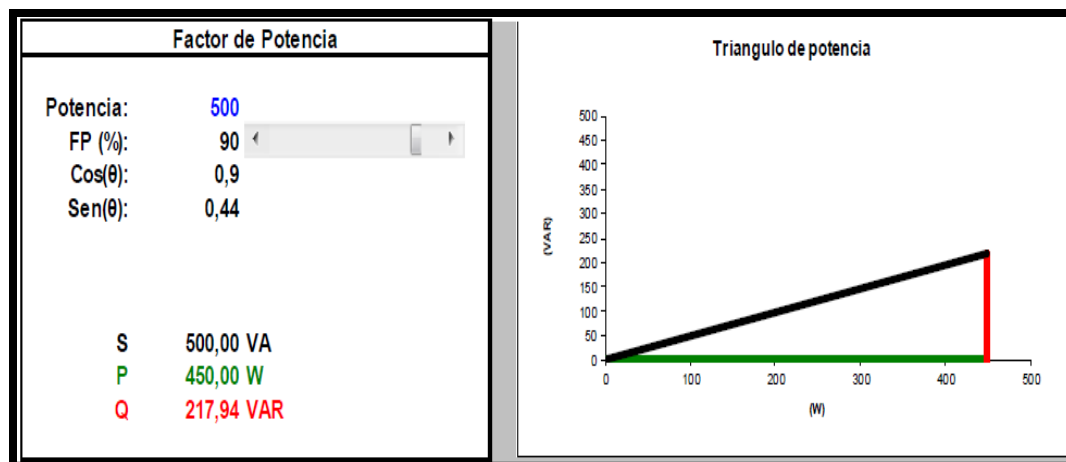
$$kVAR = kW * tg(\cos^{-1} * FP)$$

$$kVAR = 450 * tg(\cos^{-1} * 0.9)$$

$$kVAR = 217.94$$

En la siguiente Figura 2 se visualiza el factor y triangulo de potencia

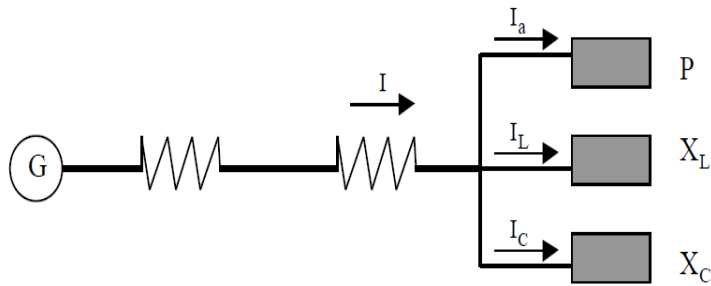
Figura 2: Factor de Potencia



Fuente: [7]

En la figura siguiente, se observa el banco de condensadores de potencia, de reactancia  $X_c$ , propuesto, en paralelo con la carga global de la planta.

Figura 3: Diagrama de conexión de condensadores en paralelo



Fuente: [9]

Tomando en cuenta los datos obtenidos se optará por un banco de condensadores de compensación central.

## 2.2.4. Análisis de Coordinación de Aislamiento Eléctrico

Dado que el proyecto se construye con estructuras normalizadas por Electrohuila para media y baja tensión, se garantiza que la coordinación de aislamiento se utilizará estructuras que cumplen con los aisladores y las distancias adecuadas para el nivel de tensión.

- **Línea De Media Tensión Aérea**

La norma IEC-60071-1 considera la Categoría A para sistemas de distribución desde 1 kV hasta 245 Kv.

El nivel de aislamiento normalizado para líneas de media tensión de 34,5 kV es de BIL 200 KV.

Para un nivel de tensión de 34,5 kV se han utilizado aisladores de porcelana:

- **Seccionadores Monoplares Tipo Cuchilla De 630 A - 36 Kv**

Son equipos de maniobra diseñados para ser instalados en circuitos de distribución donde es necesario su seccionamiento o derivación, y se implementarán cumpliendo norma

técnica internacional, de reconocimiento internacional o NTC para seccionadores, IEC 62271-105.

Tabla 3: Características técnicas de los monoplares

ITEM	DESCRIPCION			UNIDAD	SERIE 17,5	SERIE 36
1	Forma de montaje			-	Horizontal / Vertical	
2	tipo de maniobra			-	Manual con pertiga	
3	tension de servicio			kV	11,4/13,2	34,5
4	tensiones de prueba			kV	17,5	36
5	Tensiones de prueba	a la frecuencia industrial 1 minuto	A través del seccionamiento	kV	50	88
			Entre la activa y la tierra	kV	45	80
		impulso 1,2/50 $\mu$ sec entre la parte activa y la tierra	kV	95/110	170/200	
6	Corriente nominal			A	400/630	
7	Corriente de cortocircuito 1 sec			kA	20	
8	Corrientes limite dinamica			kA	50	

Fuente: [23]

En la Tabla 3: Características técnicas de los monoplares nos dara las condiciones técnicas que debe cumplir los monoplares, como tensión, corriente nominal, corriente en corto circuito.

- **Implementación De DPS**

Un DPS es aquel dispositivo que limita las sobretensiones, ya sean de tipo atmosférico o de maniobra eléctrica dentro de la red de distribución, en condiciones normales el DPS cuenta con una impedancia de gran magnitud, con lo que hace fluir una corriente del orden de los miliamperios (m A)[24].

Ya en condiciones de falla, cuando supera su tensión nominal en gran proporción, su impedancia baja, haciendo que la corriente aumente y fluya hacia tierra gracias al sistema de puesta a tierra que debe estar conectado al DPS. Como parte de su construcción el DPS cuenta en su interior con un varistor de óxido de cinc (ZnO), el cual es ensamblado con varias pastillas de este material y dependiendo de la cantidad, se determina la tensión nominal del mismo. Para garantizar que se hizo un buen ensamble, al DPS se le aplica el

MCOV (máxima tensión continua de operación), y se le mide la corriente de fuga, la cual debe ser inferior a 0.5 miliamperios (<0.5mA).

Requisitos para instalación de DPS, adaptados de las normas IEC 61643-12, IEC 60664, IEC 60664-1, IEC 60071, IEC 60099, IEC 60364-4-443, IEC 60364-5-534, IEC 61000-5-6, IEC 61312, IEEE 141, IEEE 142 y NTC 4552:

Para la instalación de un DPS se debe tener en cuenta que la distancia entre los bornes del mismo y los del equipo a proteger debe ser lo más corta posible, de tal manera que la inductancia sea mínima.

Por lo tanto, para dicho proyecto se implementará DPS de 36 kV, cumpliendo con las normas ya mencionadas.

- **Aisladores Poliméricos De Suspensión**

Dichos elementos deben contar con las normas técnicas de fabricación NTC 1227, basada en la norma ANSI NEMA C29.13.

Los aisladores poliméricos deben ser livianos, resistentes a los actos de vandalismo e inmunes a daños causados por agua, rayos ultravioletas o radiación solar.

Los aisladores deben poseer aletas de diseño aerodinámico, para facilitar su auto limpieza por efecto del viento y lluvia[8].

El material polimérico utilizado debe poseer un nivel de tracking mínimo de 3,5kV según IEC 60587 o ASTM D-2303.

Características del aislador de suspensión compuesto polimérico (IEC 61109):

El cual se debe implementar para el cumplimiento a la norma de construcción establecidas en NTC 2050.

Distancia arco eléctrico = 265 mm, distancia de fuga = 660 mm, diámetro del núcleo = 16 mm, voltaje típico de aplicación = 36 KV, flameo de baja frecuencia en seco = 130 KV, flameo de baja frecuencia en húmedo = 110 KV, flameo crítico al impulso positivo = 200 KV, flameo crítico al impulso negativo = 200 KV, voltaje de perforación a baja frecuencia = 200Kk V, peso neto = 1,24

kg.

- **Corta circuitos monopolares Aisladores**

En este diseño se implementará 3 Cortacircuitos mono polares 30 KV, 100 A corriente asimétrica 12 KV con fusible tipo K en cumplimiento de la norma tales como NTC 2132, NTC 2133, NTC 2076, ANSI C37.41, y sus fusibles con normas internacional, de reconocimiento internacional o NTC que les aplique, tales como: IEC 60269-1, IEC 60269-2-1, NTC 2133, IEC60282-1, IEC 60282-2 o NTC 2132.

Tabla 4: Características Técnicas de los Aislador Polimérico

<b>CARACTERISTICAS GENERALES</b>				
<b>NORMA DE ENSAYOS</b>	(ANSI C 29,13)	(ANSI C 29,13)	(ANSI C 29,13)	(ANSI C 29,13)
<b>CLASE (ANSI C 29,13)</b>	DS-15	DS-28	DS-35	DS-46
<b>TIPO</b>	Retención	Retención	Retención	Reetención
<b>MATERIAL</b>	Polimérico	Polimerico	Polimérico	Polimerico
<b>CARACTERISTICAS ELÉCTRICAS</b>				
<b>TENSION MAXIMA DE OPERACIÓN (kV)</b>	15	25	36	36
<b>TENSIÓN DE CONTORNEO FREC.IND. EN SECO (kV)</b>	90	130	145	180
<b>TENSION DE CONTORNEO FREC. IND BAJO LLUVIA (kV)</b>	65	100	130	145
<b>TENSION CRÍTICA TIPO IMPULSO-POSITIVA (kV)</b>	140	190	250	280
<b>LOW FREC. TEST VOLTAJE (RMS TO GROUND) ( kV)</b>	15	20	30	30
<b>MAXIMUM RIV AT 1000 KHZ (µV)</b>	10	10	10	10
<b>CARACTERISTICAS MECÁNICAS</b>				
<b>CARGA MECANICA NOMINAL(SML)(KN)</b>	44,5	44,5	44,5	44,5
<b>TORSIÓN (N-m)</b>	47,5	47,5	47,5	47,5
<b>CARACTERISTICAS DIMENSIONALES</b>				
<b>DISTANCIA DE FUGA (mm)</b>	355	560	740	900
<b>LARGO L (mm)</b>	330±15	430±25	525±60	590±50

Fuente: [25]

En la Tabla 4: Características Técnicas de los Aislador Polimérico nos dan los parámetros y condiciones que se deben cumplir.

Selección de Fusibles Media Tensión se utilizan la siguiente ecuación

$$\frac{500 \text{ kVA}}{34,5 \text{ kV} \cdot \sqrt{3}} = 8,37 \text{ A}$$

Por tanto, se requiere fusible de HH de 10 A.

Se han utilizado descargadores de ZnO 30 kV 10 kA, con sistema de neutro sólidamente a tierra

La tensión de operación de la válvula por medio de la siguiente ecuación.

$$1,4 * \frac{34,5 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 27,88 \text{ kV}$$

Distancias de seguridad Líneas de Media Tensión = 2,6 m.

Todos los equipos que forman parte del sistema de distribución a 34,5 kV tendrán un nivel de aislamiento (BILL) de 110 kV, valor tomado de las normas de diseño de Electrohuila

## **2.2.5. Análisis de Cortocircuito y Falla a Tierra.**

El cálculo de las tensiones de falla a tierra se presenta en el ítem I de esta memoria de cálculo; adicionalmente se procede a determinar la capacidad interruptiva de los dispositivos de protección para cada elemento de la red eléctrica, con estos valores obtenidos se realizará la coordinación de protecciones correspondiente para el sistema eléctrico del proyecto desarrollado en el ítem M de esta memoria de cálculo[27].

- **Análisis De Nivel De Riesgo Por Rayos Y Medidas De Protección Contra Rayos.**

Para la realización del estudio se toman los siguientes datos:

-Ubicación del proyecto: Zona rural municipio de Palermo – Huila.

-Uso de la estructura: Planta de producción

-Largo de la estructura: 72 metros.

-Ancho de la estructura: 24 metros.

-Altura máxima de la estructura: 8 metros.

-Tipo de construcción: Mixta.

-Densidad de descargas a tierra (DDT): 1 descargas/km<sup>2</sup>-año, dato suministrado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, más exigente que el mapa iso-cerámico de Colombia.

-Corriente pico absoluta promedio (I abs): 30 kA para Colombia.

A continuación, se presenta el estudio de acuerdo a las condiciones anteriormente mencionadas:

Tabla 5: Cálculos De Factor De Riesgo Por Rayos (Metodología Ntc 4542)

<b>CÁLCULOS DE FACTOR DE RIESGO POR RAYOS ( METODOLOGÍA NTC 4542 )</b>			
<b>Descripción del Proyecto:</b>		BOLIVARIANA DE MINERALES VEREDA ORIENTE MUNICIPIO DE PALERMO	
		Fecha:	MAR./2020
<b>COMPONENTES DE RIESGO</b>			
Variable	Descripción	Criterio	Valor
R <sub>A</sub>	Componente de riesgo - lesiones a seres vivos por tensiones de paso y contacto-impacto en la estructura	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$	1.48E-07
R <sub>B</sub>	Componente de riesgo - daños físicos por chispas dentro de la estructura - impacto de la estructura )	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$	1.48E-07



RU	Componente de riesgo ( lesiones a seres vivos por tensiones de paso y contacto por impacto en el servicio )	$RU=(NL + N_{Da}) \times PU \times LU$	-1.0491E-06
RV	Componente de riesgo ( daños físicos causados por chispas debido a corrientes de rayos transmitidas a través de los servicios públicos )	$RV=( NL + N_{da} ) \times PV \times LV$	8.58E-05
RC	Componente de riesgo ( fallas de sistemas internos causadas por Impulsos Electromagnéticos del rayo por descargas directas a la estructura)	$RC=ND \times PC \times LC$	4.45E-06
RM	Componente de riesgo ( fallas de sistemas internos causadas por Impulsos Electromagnéticos del rayo por descargas próximas a la estructura )	$RM=NM \times PM \times LM$	1.54E-05
RW	Componente de riesgo ( fallas de sistemas internos causadas por sobretensiones inducidas sobre la acometida y transmitidas a la estructura)	$RW=(NL+N_{Da}) \times PW \times LW$	-1.05E-04
RZ	Componente de riesgo ( fallas de sistemas internos causadas por sobretensiones las líneas de acometidas y transmitida a la estructura)	$RZ=(NI-NL) \times PZ \times LZ$	1.48E-06
$N_D$	Número de eventos peligrosos debido a impactos directos sobre la estructura	$N_D=DDT \times A_d \times C_d \times 10^{-6}$	1.13E-03
DDT	Densidad de descargas a tierra	$DDT=0.0017 \times N_c^{1.56}$	1.01
NC	Nivel cerámico		60
Ad	Área efectiva de la estructura aislada	$A_d=L \times W + 6 \times H \times (L + W) + 9 \times H^2$	4,470
L	Largo	Geometría de la estructura	25

W	Ancho	Geometría de la estructura	20
H	Altura	Geometría de la estructura	8
Cd	Factor de localización relativa	Tabla 10: Rodeado de objetos o árboles más altos	0.25
PA	Probabilidad de lesiones causados por tensiones debidas a cargas directas a la estructura	Tabla 14: Avisos de advertencia	0.1
LA	Pérdidas relacionadas a lesiones causados por tensiones debidas a cargas directas a la estructura	$LA=ra \times Lt$	1.32E-03
ra	Factor reductor de pérdidas de vidas por características del suelo	Tabla 27: Agricultura, concreto	0.01
Lt	Pérdidas por lesiones a seres vivos por tensiones de paso y contacto	$Lt = (np / nt) \times (tp / 8760)$	0.13
np	Número posible de víctimas		2
nt	Número total de personas esperadas		10
tp	Tiempo anual de personas en el edificio		5760
$N_D$	Número de eventos peligrosos debido a impactos directos sobre la estructura	$N_D=DDT \times A_d \times C_d \times 10^{-6}$	1.13E-03
PB	Probabilidad de daño a la estructura por descargas directas a la estructura	Tabla 15: NPR IV	0.2
LB	Pérdidas de vidas humanas por fuego o explosión debida a arco eléctrico	$LB=rp \times rf \times Lf \times hz$	6.58E-04
rp	Factor reductor de pérdida debida a daños físicos ligados a medidas de protección para reducir consecuencias de incendio	Tabla 28: Extintor manual o alarma manual o hidrante o compartimento contra fuego o rutas de evacuación	0.5
rf	Factor reductor de pérdida debido a daños físicos relacionado con el riesgo de incendio	Tabla 29: Común	0.01
Lf	Pérdidas de vidas humanas por daños físicos	$Lt = (np / nt) \times (tp / 8760)$	0.13

Lf	Pérdidas de vidas humanas por daños físicos	$Lt = (np / nt) \times (tp / 8760)$	0.13
hz	Factor de incremento de pérdida debida a daños físicos por presencia de condiciones especiales peligrosas	Tabla 30: Sin riesgo especial	1
<b>ACOMETIDAS AÉREAS</b>			
$N_L$	Número de eventos peligrosos debido a descargas sobre el servicio	$N_L = DDT \times Al \times Cd \times Ct \times 10^{-6}$	-9.9318E-04
NI	Número de eventos peligrosos por descargas cercanas al servicio	$NI = DDT \times Ai \times Ce \times Ct \times 10^{-6}$	-3.9727E-03
DDT	Densidad de descargas a tierra	$DDT = 0.0017 \times N_c^{1.56}$	1.01
Ad/a	Área efectiva de la estructura adyacente aislada	$A_{d/a} = L \times W + 6 \times H \times (L + W) + 9 \times H^2$	5,944
L	Longitud de la acometida [ m ]	Medida	12
W	Altura de la acometida [ m ]	Medida	12
H	Altura del punto donde ingresa la acometida [ m ]	Medida	12
Cd/a	Factor de localización relativa de la estructura adyacente	Tabla 10: Rodeado de objetos o árboles más altos	0.25
Ct	Factor de corrección por transformador en acometida de servicio	Tabla 11: Sin Transformador	1
PU	Probabilidad de lesiones causados por tensiones debidas a descargas en las acometidas de servicios	Tabla 14: Avisos de advertencia	0.1
Lu	Pérdidas de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura	$Lu = ru \times Lt$	0.001315068
ru	Factor de pérdidas de vidas humanas por características constructivas del piso	Tabla 27: Agricultura, concreto	0.01
Lt	Pérdidas por lesiones a seres vivos por tensiones de paso y contacto	$Lt = (np / nt) \times (tp / 8760)$	0.13

PV	Probabilidad de daños físicos a causa de descargas directas en las acometidas de servicios	Tabla 16 ó 19: Sin NPR ó Cable NO apantallado	1
LV	Pérdidas de vidas humanas por daños físicos ( fuego o explosiones ) debidas a descargas en las acometidas de servicios	$LV = r_p \times h_z \times r_f \times L_f$	6.58E-04
PC	Probabilidad de daños de sistemas internos debido a impactos directos a la estructura	Tabla 16: Protección IV-III	0.03
LC	Pérdidas de vidas humanas por daños internos debidos a impulsos electromagnéticos de rayos en la estructura	$LC = (n_p / n_t) \times (t_p / 8760)$	0.13
Nm	Evaluación de número promedio de descargas cercanas a la estructura	$N_M = DDT \times (A_m - A_{d/b} \times C_{d/b}) \times 10^{-6}$	0.01
DDT	Densidad de descargas a tierra	$DDT = 0.0017 \times N_c^{1.56}$	1.01
Am	Área de influencia de la estructura	$A_m = 250 \times (L + W)$	11250.00
Ad/b	Área efectiva de la estructura	$A_d = L \times W + 6 \times H \times (L + W) + 9 \times H^2$	4,470
Cd/b	Factor que toma en cuenta la localización relativa de la estructura	Tabla 10: Rodeado de objetos o árboles más altos	0.25
PM	Probabilidad de daños de sistemas internos por impactos cercanos a la estructura	PMS	3.000000E-03
LM	Pérdidas de vidas humanas por fallas de los sistemas internos debido a los impulsos electromagnéticos de rayos cercanos a la estructura	$LM = (n_p / n_t) \times (t_p / 8760)$	0.50
N <sub>L</sub>	Número de eventos peligrosos debido a descargas sobre el servicio	$N_L = DDT \times A_l \times C_d \times C_t \times 10^{-6}$	-9.9318E-04
ND <sub>a</sub>	Promedio anual de descargas sobre estructuras adyacentes	$ND_a = DDT \times A_d/a \times C_d/a \times C_t \times 10^{-6}$	1.9540E-04

PW	Probabilidad de daños de sistemas internos debido a impactos directos a las acometidas de servicios	Tabla 19	1.00
LW	Pérdidas relacionadas a fallas de sistemas internos por descargas en el servicio	$LW = (np / nt) \times (tp / 8760)$	0.13
$N_L$	Número de eventos peligrosos debido a descargas sobre el servicio	$N_L = DDT \times AI \times Cd \times Ct \times 10^{-6}$	-9.9318E-04
NI	Número de eventos peligrosos por descargas cercanas al servicio	$NI = DDT \times Ai \times Ce \times Ct \times 10^{-6}$	-3.9727E-03
PZ	Probabilidad de daños de sistemas internos debido a impactos cercanas a las acometidas de servicios	Tabla 20	0.50
LZ	Perdidas relacionadas con sistemas internos	$LZ = (np / nt) \times (tp / 8760)$	#####
R1	Riesgo de pérdidas de vidas humanas	$R1 = (RA + RU) + (RB + RV) + (RC + RM + RW + RZ)$	1.436432E-06
RT1	Riesgo tolerable para pérdidas de vidas y lesiones permanentes		$10^{-5}$
R2	Pérdidas de servicio público	$R2 = (RB + RV) + (RC + RM + RW + RZ)$	2.337137E-06
RT1	Riesgo tolerable para pérdidas de servicio público		$10^{-3}$

Fuente:[17]

En la Tabla 5 - Cálculos De Factor De Riesgo Por Rayos, obtenemos como conclusión que no se requiere un sistema de protección externa una vez evaluado los componentes de riesgos ni afectaciones a la vida humana.

- **Diseño Del Sistema De Protección:**

FACTOR DE RIESGO: El propósito de la evaluación de factor de riesgo es establecer las medidas que se deben implementar con el fin de llevar el riesgo por debajo del riesgo tolerable. Para el riesgo R 1 se tiene un valor tolerable de  $1 \times 10^{-5}$  y las medidas que se tomen deben llevar a obtener un riesgo R1 inferior a este valor.

De acuerdo al estudio, el valor de R1 es:

$$R1 = 1,43 \text{ E} - 06$$

Como el riesgo calculado  $R1 = 1,43 \times 10^{-6}$  es menor que el riesgo tolerable  $RT = 1 \times 10^{-5}$  no es necesario tomar medidas de protección adicionales. Por lo tanto, no requiere un sistema de apantallamiento ni otras medidas adicionales.

### **2.2.6. Análisis Del Nivel Tensión Requerido.**

El punto de conexión otorgado por el operador de red se encuentra a un nivel de tensión de 34,5 kV, la planta operará a un valor de 440 /2543V. Dado lo anterior se requiere:

Redes de distribución por MT a 34,5 kV para la conexión del transformador

Transformador 34,5kV/440-254V

Redes de baja tensión a 440/254V para la conexión de acometidas a los distintos tableros.

### **2.2.7. Cálculo De Campos Electromagnéticos**

Para Asegurar Que, En Espacios Destinados A Actividades Rutinarias De Las Personas, No Se Superen Los Límites De Exposición.

No aplica para este tipo de investigación ya que la actividad rutinaria del personal de la planta se no encuentra cerca de la subestación ni de los CCM, ni tienen una exposición factores de riesgos.

### **2.2.8. Cálculo De Transformadores**

Incluyendo Los Efectos De Los Armónicos Y Factor De Potencia En La Carga.

Dada la naturaleza de las cargas, no se tiene en cuenta el efecto de los armónicos de la empresa Bolivariana de Minerales Municipio de Palermo

En la siguiente la tabla 6 se muestra el cálculo del transformador

Tabla 6: Cálculos de Transformador

**CÁLCULO DEL TRANSFORMADOR - BOLIVARIANA DE MINERALES MUNICIPIO DE PALERMO**

DESCRIPCION	CANTIDAD	KVA TOTALES
TRITURADORA	1	61.09
MOLINO 1	1	87.98
MOLINO 2	1	77.62
MOLINO RAYMOND	1	87.98
MEZCLAS	1	77.65
SECADERO	1	62.14
<b>TOTAL</b>		<b>454.46</b>
<b>CALCULO DEMANDA:</b>		
<b>KVA INSTALADOS:</b>		<b>454,46</b>
<b>Proceso al 100%</b>		<b>454,46 kVA</b>
<b>Total</b>		<b>454,46 kVA</b>
<b>TRANSFORMADOR SELECCIONADO: TRIFÁSICO 500 KVA 34500/440/254 V.</b>		

Fuente: [25]

En la Tabla 2: Cálculos de Transformador obtenemos las características del transformador seleccionado.

En la siguiente tabla se muestra las respectivas dimensiones del correspondiente transformador

Tabla 7: Dimensionamiento del transformador

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Capacidad nominal del transformador	500	kVA
Tipo de aislamiento	seco	
Tensión M.T.	34.500	V
Tensión B. T.	440	V
Corriente primaria	8, 37	A

<b>Corriente secundaria</b>	656,08	A
<b>Tensión nominal de cortocircuito (Uz)</b>	5%	%
<b>Corriente de cortocircuito primaria</b>	167,73	A
<b>Corriente de cortocircuito secundaria</b>	13122	A

Fuente: [28]

En esta podemos observar las características eléctricas del transformador seleccionado

## 2.2.9. Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra.

- Método De Medición Del Terreno.

Los objetivos del sistema de puesta a tierra (SPT) son; obtener las tensiones de paso y contacto dentro de los márgenes que garanticen la seguridad de las personas, la disipación de las corrientes de corto circuito la protección de las instalaciones y la compatibilidad electromagnética.

Se exige como criterio fundamental de los sistemas de puesta a tierra la garantía de la seguridad de los seres humanos, medido en la máxima energía eléctrica que puede éste soportar.

Con estricta sujeción a lo contenido en el artículo 15.4 del RETIE, en lo que concierne a los valores de referencia de resistencia de puesta a tierra, se tiene que un diseño correcto y efectivo de puesta a tierra debe garantizar el control de las tensiones de paso, de contacto y transferidas. En razón a que la resistencia de puesta a tierra es un indicador que limita directamente la máxima elevación de potencial, pueden tomarse como referencia los valores máximos de la Tabla 15.4 del RETIE, adoptados de las normas técnicas IEC 60364-4-442, ANSI/IEEE 80, NTC 2050 y NTC 4552. No obstante, el cumplimiento de estos valores, no exonera al diseñador y constructor de garantizar que las tensiones de paso, contacto y transferidas aplicadas al ser humano en caso de una falla a tierra, no superen las máximas permitidas.

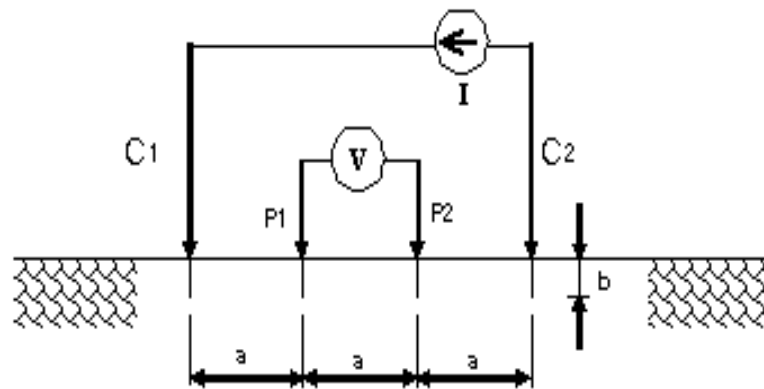
Para realizar las medidas de resistividad del terreno se empleó el método de Werner, recomendado por RETIE 2013.



El principio básico de este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos C1 y C2 mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos P1 y P2, como se muestra en la **Figura 1.5**. Estos electrodos están dispuestos en línea recta e igual separación entre ellos, donde (a) es la distancia entre electrodos y (b) la profundidad de enterramiento de los electrodos. Para la inyección de una corriente de magnitud conocida, así como de la medición del potencial se utiliza un instrumento conocido como telurómetro.

En la siguiente figura 4 se muestra el respectivo esquema de medición correspondiente a la resistividad aparente

Figura 4: Esquema de medición de resistividad aparente



Fuente:[29]

La resistividad aparente está dada por la siguiente ecuación

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad [\Omega \cdot m]$$

Dónde:

p: Resistividad promedio a la profundidad b en ohm-m.

a: Distancia entre electrodos en metros.

b: Profundidad de enterramiento de los electrodos en metros.

R: Lectura del Telurómetro en Ohms.

Si la distancia de enterramiento  $b$  del electrodo es muy pequeña comparada con la distancia entre electrodos  $a$ , la fórmula anterior se reduce a:

$$\rho = 2 \pi a R \quad [\Omega \cdot m]$$

La resistividad obtenida mediante esta fórmula corresponde a la resistividad promedio de un hemisferio de terreno de un radio igual a la separación entre electrodos.

### 2.2.10. Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra

Para realizar los cálculos, se tomarán los siguientes parámetros suministrados por ELECTROHUILA en la carta de disponibilidad de servicio.

En la siguiente Tabla 8 se especifican las corrientes que suministra Electrohuila.

Tabla 8: Corrientes suministradas por ELECTROHUILA

Corrientes simétricas	
Corriente trifásica	9,13 kA
Corriente monofásica	3,83 kA

Fuente: [30]

En la Tabla 3 son las corrientes simétricas suministradas por Electrohuila según los cálculos hechos por dicha empresa en su sistema de protecciones.

### 2.3. Parámetros De Diseño.

Se escoge una malla con la siguiente disposición ver Tabla 9

Tabla 9: Datos para diámetro de conductor MT

SIMBOLO	DESCRIPCION	VALOR
$\rho$	Resistividad aparente del terreno (Kohm)	15 $\Omega m$

<b>Io</b>	Corriente de falla trifásica a tierra en el primario	9,13 KA
<b>Tc</b>	Tiempo de despeje de la falla	0,015 s
<b>Kf</b>	Constante para el conductor seleccionado a una temperatura de fusión (Tm): 1084°C y temperatura ambiente de 40°C	7,06

En la Tabla 4 obtendremos todas las condiciones técnicas del conductor para la puesta a tierra.

Según el artículo 15.3.2 de RETIE 2013, el conductor para media tensión debe ser seleccionado con la siguiente ecuación:

$$A_{\text{mm}^2} = \frac{I_{Kf} * \sqrt{t_c}}{14737}$$

En donde:

A, es la sección del conductor en mm<sup>2</sup>.

I, es la corriente de falla a tierra.

Kf, es la constante del material, según tabla 000RETIE 2013.

tc, es el tiempo de despeje de la falla a tierra.

$$A = \frac{(3,63 \text{ kA}) * (7,069) * (0.015^{1/2})}{1,9737}$$

$$A = 1,59 \text{ mm}^2$$

De acuerdo con los cálculos un conductor de 1,59 mm<sup>2</sup> sería suficiente para soportar las temperaturas alcanzadas en el evento de una falla en el primario, de la cual se deriva una corriente de 3,63 kA no obstante, por consideraciones mecánicas se recomienda utilizar

un conductor desnudo de cobre calibre 2/0 AWG, con sección transversal de 67,43 mm<sup>2</sup> y un diámetro de 10,5 mm para la malla de puesta a tierra de la subestación tipo poste.

Con base a la hoja de cálculo elaborada por SEGELECTRICA, se anexa en la siguiente página los resultados, quienes fueron los que realizaron los estudios de elaborados por el Ing. Héctor y Graffe Cantillo revisado por Ing. Fabio Casas Ospina


Tabla 10: Cálculo de malla a tierra

## Cálculo de mallas de puesta a tierra para subestaciones.

IEEE 80 - 2000

Elaborado por: Ing. Héctor Ed. Graffe Cantillo

Revisado por: Ing. Fabio Casas Ospina  
Copyright © Seguridad Eléctrica Ltda.



**DATOS BASE PARA EL CÁLCULO DE LA MALLA DE PUESTA A**

Resistencia Objetivo menor a .....( $\Omega$ )	5	Subestaciones de media tensión de uso interi
Resistividad aparente del terreno ( $\rho$ )	13	<   >
Corriente de falla monofásica a tierra en el primario $I_o$ (A)	3,850	<   >
Tiempo de despeje de la falla $t_c$ (ms)	15	<   >
Material a utilizar en la puesta a tierra, con temperatura ambiente de 40°C	Cobre duro cuando se utiliza soldadura exotérmica	
	Ver propiedades de los diferentes materiales	
Marque la casilla de verificación si existe una capa superficial. <input checked="" type="checkbox"/>	Resistividad ( $\Omega.m$ )	Espesor $h_s$ (cm)
	100	9
Conductor calculado para la malla de puesta a tierra	Area mínima (mm <sup>2</sup> )	Calibre escogido
	5.06	2/0 AWG
		Diámetro (m)
		0,0093

Geometría de la malla	<input type="radio"/>	Cuadrada	Largo (m)	7	<   >	Longitud Conductor Horizontal (m)
	<input checked="" type="radio"/>	Rectangular	Ancho (m)	3	<   >	24
	<input type="radio"/>	En forma de L	L1 (m)	0	<   >	Longitud total varillas (m)
		L2 (m)	0	<   >	14	
		Lado de Cuadrícula (cm)	300	<   >	Longitud del perímetro (m)	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Marque la casilla si la PT tiene Varillas	Número de varillas	6	<   >	20
		Longitud de varilla (cm)	240	<   >		
Profundidad de enterramiento de la malla (cm)	▲ ▼	60	Área de la malla (m <sup>2</sup> )	21		
<b>CÁLCULO DE TENSIONES DE PASO Y CONTACTO MÁXIMAS PERMITIDAS</b>						
Tensión de contacto tolerable	1,418	Persona de 70 kg	▼			
Tensión de paso tolerable	1,828					
<b>CÁLCULO DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA</b>						
Resistencia de Puesta a Tierra ( $\Omega$ )	1.37					
<b>CÁLCULO DE TENSIONES EN CASO DE FALLA</b>						
Maximo potencial de tierra GPR (V)	10,043					
Tensión de malla en caso de falla (V)	#¡VALOR!					
Tensión de paso en caso de falla (V)	1,229					
El GPR es menor que la tensión de contacto tolerable?	<b>Verifique la tensión de malla!!!</b>					
La tensión de malla en caso de falla es menor que la tensión de contacto tolerable?	<b>#¡VALOR!</b>					
La tensión de paso en caso de falla es menor que la tensión de paso tolerable?	<b>#¡VALOR!</b>					
La resistencia obtenida es menor a la resistencia objetivo?	<b>#¡VALOR!</b>					

Con los resultados obtenidos se propone una malla de las siguientes características:

6 electrodos de cobre duro de 2,40 m x 12,7 mm.

Cable de Cu 2/0 AWG, una longitud de 20 m.

Disposición de la malla Rectangular.

NODO INICIAL	NODO FINAL	LONGITUD DEL VANO	POTENCIA DEL NODO (KVA)	MOMENTO ELECTRICO (KVA-MT)	CALIBRE AWG ECOL.	REGULACIÓN (%)		CORRIENTE (A)	PERDIDAS (W)	K REGULACIÓN	RESISTENCIA A (ohm/m)
						TRAMO	ACUMULADA				
0	1	4	500	2000	1/0	0,0005	0,0005	8,37	7,40E-01	2,40E-07	0,000874

Como conclusión la resistencia de puesta a tierra de la malla propuesta es de 1,4  $\Omega$ , valor que se considera adecuado y cumple con las recomendaciones del RETIE 2013.

De la misma manera los potenciales de paso y de contacto resultantes, bajo las condiciones de cortocircuito, se hallan por debajo de los límites máximos permisibles de acuerdo a la configuración del sistema y a los criterios empleados para el cálculo. Las

tensiones de paso y contacto admisible por un ser humano cumplen con los límites establecidos en la tabla 11c del RETIE 2013.

Tabla 11: Cálculo regulación en media tensión

Fuente:[17]

### 2.3.1. Cálculo Económico De Conductores

Teniendo En Cuenta Todos Los Factores De Pérdidas, Las Cargas Resultantes Y Los Costos De La Energía.

- **Conductor De Red De Media Tensión**

De acuerdo con las normas ELECTROHUILA, se debe utilizar conductor XLPE 36 KV CU calibre # 1/0 AWG para la red subterránea de media tensión.

Que no se supera el límite máximo regulación de tensión a nivel de 34,5 kV: (3%). En este proyecto el tramo de L.M.T 34,5 KV es de 4 mts.

Tabla 12: Cálculo regulación en media tensión

<b>AISLAMIENTO</b>	<b>CALIBRE AWG</b>	<b>k. REG. 3F</b>	<b>R (ohm/m)</b>	<b>X (ohm/m)</b>	<b>In (A)</b>
<b>THHN</b>	350	0,0055	0,00013	0,00014	310
<b>THHN</b>	4/0	0,000047	0,0002	0,00013	230

Fuente: [17]

Nivel de tensión: 34.500 V

Potencia del sistema: 500 KVA.

Pérdidas del sistema: 0,74 W.

Porcentaje de pérdidas en la red: 0,0002 %.

En los planos de diseño adjuntos se presenta la ubicación e identificación de la estructura en media tensión proyectada.

- **Conductores Para Acometida En Baja Tensión**

En baja tensión se utilizarán los siguientes tipos de conductores:

Conductor de acometida a tableros. Cobre Monopolar.

Los calibres normalizados son:

3x4/0+1x4/0 AWG CU THHN

3x(2x350) CU THHN

Tabla 13: Características de los conductores

<b>AISLAMIENTO</b>	<b>CALIBRE AWG</b>	<b>k. REG. 3F</b>	<b>R (ohm/m)</b>	<b>X (ohm/m)</b>	<b>In (A)</b>
<b>THHN</b>	350	0,0055	0,00013	0,00014	310
<b>THHN</b>	4/0	0,000047	0,0002	0,00013	230

Fuente:[29]

De esta manera, se realizan los cálculos de regulación, cumpliendo con los límites de regulación de tensión (3,5%).

Para calcular momento eléctrico

$$M.E = kVA * m$$

Para obtener el cálculo de porcentaje de regulación parcial se utiliza la siguiente formula

$$\% REG = M.E * k \times 10^{-3}$$

Con la ecuación 2.7 obtendremos el cálculo de pérdidas por kW.

$$I^2 = (R * 3) * L \times 10^{-3}$$

I, corriente

R, resistencia eléctrica del conductor  $\Omega$  / km

L, longitud del conductor

- **Cálculo De Conductor Económico**

Se presenta tabla de cálculo de conductor económico realizado mediante el software Dimensionamiento Económico y Ambiental de Conductores Colombia de la empresa Procobre, el cálculo indica que el conductor económico deberá ser así:

- **Acometidas En Baja Tensión**

La selección técnica indica conductores en cable monopolar N° 350 MCM y N°4/0 AWG para acometidas principales, aplicando el software, este indica que, para lograr un retorno de la inversión en 2 años, se debe instalar para acometidas 800 y 750 MCM; sin embargo, se determina seguir con la selección de acometidas en 350 MCM y 4/0 AWG dado que la diferencia en el valor es mínima.

Dimensiones económico ambiental de conductores eléctricos de baja tensión

(hasta de 1000 voltios) de acuerdo con la norma IEC 60287-3-2.



Tabla 14: Dimensiones económico ambiental de conductores

SECCIÓN TECNICA (STEC)					SECCION ECONOMICA Y AMBIENTAL (SEAC)							
circuito	Sección nominal (AWG/kCmil)	CI (\$)	CJ(\$)	CT(\$)	Sección nominal (AWG/kCmil)	CI(%)	CJ(\$)	CT(\$)	Ahorro de inversión (\$)	Tiempo de retorno de la inversión (años)	energía (KW/h) valor aproximado	Z1-Z2 ganancia ambiental (reducción de CO2 ) (Kg-CO2)
ACOMETIDA TRANSFORMAD OR A TABLERO T.C.M.1	350	15'946.240	456,630.092	472'576.332	800	31'568.000	199'705.267	231'273.267	241'303.065	1	442,974	118,299
ACOMETIDA TRANSFORMAD OR A TABLERO T.C.M.2	40	5'376.000	41'949.323	47'325.323	750	14'879.200	11'836.333	26'715.333	20'609.790	6	51,919	11,367
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>21'322.240</b>	<b>498'579.414</b>	<b>519'901.654</b>	<b>0</b>	<b>46'447.200</b>	<b>211'541.600</b>	<b>257'988.800</b>	<b>261'912.855</b>	<b>2</b>	<b>494,893</b>	<b>129,666</b>

Fuente:[31]

Tabla 15: Datos generales

<b>Precio de energía activa (co\$/kwh)</b>	<b>580</b>
<b>Vida económica de la instalación (años)</b>	<b>20</b>

<b>Emisiones de CO2 en el momento de generación por unidad de energía eléctrica (kg-CO2/kwh)</b>	0,149
<b>Tasa de capitalización %</b>	16
<b>Emisiones de CO2 en el momento de la producción del cobre por kilo (kg-CO2/kg-cu)</b>	4,09

Fuente: [8]

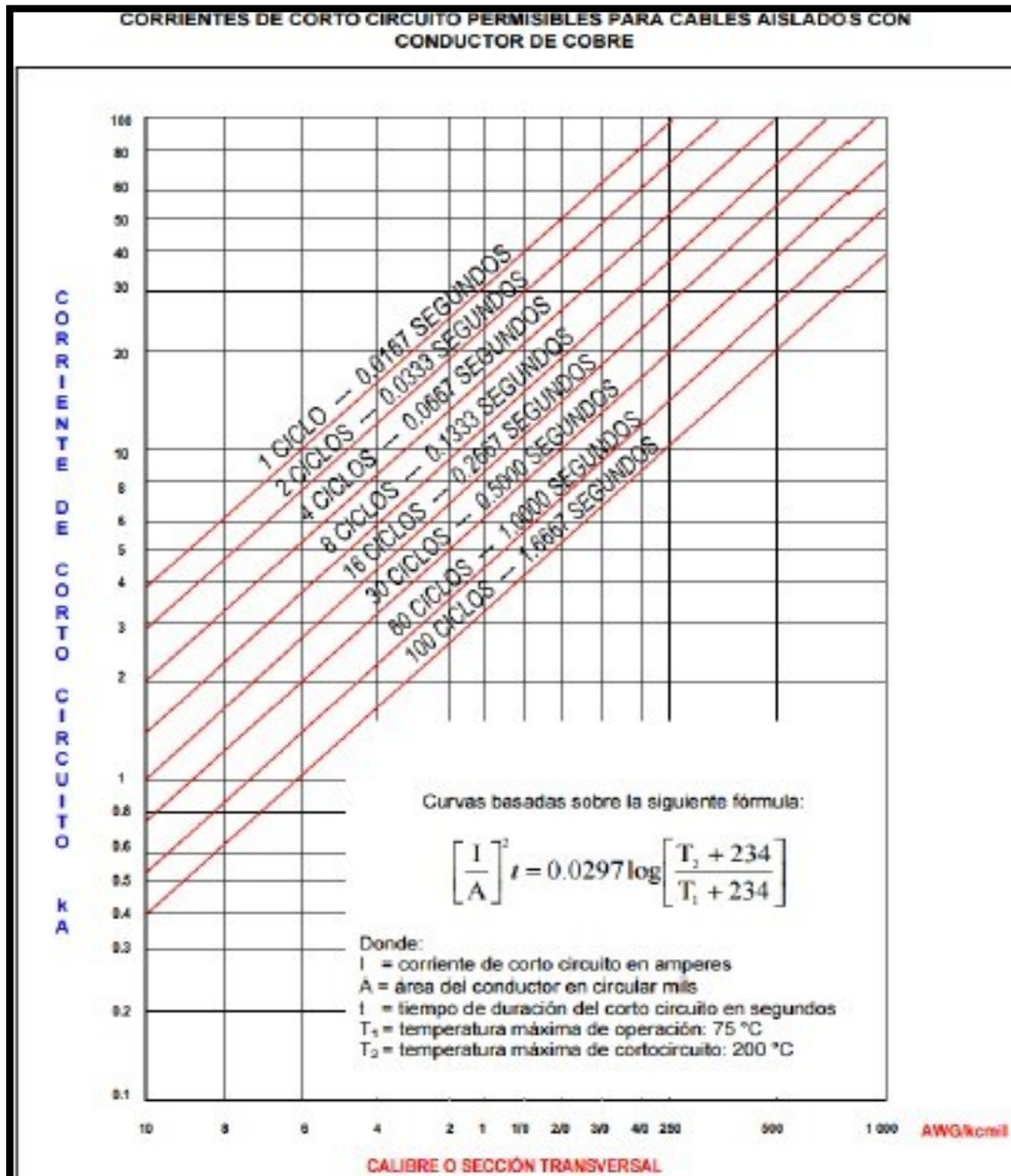
### **2.3.2. Verificación De Los Conductores, Teniendo En Cuenta El Tiempo De Disparo De Los Interruptores**

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.

Al tener selectividad de dispositivos de protección contra sobrecorrientes, si ocurre una condición de falla en cualquier punto del sistema de distribución, esta será despejada por el dispositivo de protección inmediatamente aguas arriba de la falla, así mismo los conductores están diseñados para la corriente nominal del sistema. De igual forma las protecciones actúan antes de que se supere la máxima corriente de cortocircuito para el cable de cobre.

A continuación, se presenta la gráfica de las máximas corrientes permisibles en conductores de cobre y teniendo en cuenta que el tiempo de despeje de una falla de la subestación EL BOTE es de 0,20 segundos.

Figura 5: : Corto circuito para cables aislado de cobre



Fuente: [24]

- **Curvas Características De Conductores Fallados**

De la curva anterior se deduce que los conductores seleccionados para el proyecto alcanzan a trabajar fallados durante los ciclos que se demora la protección anterior (aguas arriba) sin sufrir daño, pudiendo ser energizados de nuevo luego que se logre despejar la falla.

El # 350 puede durar fallado a 6 kA durante 60 16 ciclos (0,99 segundos), tiempo en el cual la protección de 600 A ya ha operado abriendo el circuito.

Por lo anterior los conductores se encuentran coordinados con las protecciones asegurando su correcta protección durante el tiempo que se demore en despejar una falla.

## 2.4. Cálculo Mecánico De Estructuras Y De Elementos De Sujeción De Equipos.

Dado que el proyecto se construye con estructuras normalizadas por ELECTROHUILA para media y baja tensión, se garantiza que las estructuras y elementos de sujeción de equipos ya cuentan con los cálculos necesarios para su correcta operación, por tal motivo no se trata este ítem en la presente memoria de cálculo.

- **Datos de estructura**

Para este proyecto se implementará un poste de 14m por 1050 que deben contar con certificación de producto bajo RETIE y la norma NTC 1329, el cual debido a sus especificaciones es el adecuado para dicho proyecto, y dando cumplimiento a las normas de construcción de Electrohuila.

Tabla 16: Carga mínima de rotura

<b>CARGA MÍNIMA DE ROTURA SEGÚN RETIE EN kgf</b>	<b>CARGA EN N</b>	<b>CARGA MÍNIMA DE ROTURA EN da N</b>	<b>TECNOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN</b>
1050	10300	1030	Armado o Pretensado

Fuente: [32]

- **Carga de trabajo o de servicio**

La carga de trabajo es la resultante de dividir la carga mínima de rotura, por el coeficiente de seguridad establecido en el artículo 25.5 del RETIE.

Tabla 17: Trabajo

CARGA DE ROTURA EN kgf	CARGA DE TRABAJO EN kgf	CARGA DE TRABAJO EN kgf
<b>1050</b>	420	412

Fuente: Autor

### Deformaciones o flechas bajo carga

En la tabla 17 se establecen los límites para la flexión bajo carga y deformación permanente. Las deformaciones se determinan de acuerdo con el ensayo de flexión especificado en la norma NTC 1329.

Tabla 18: Deformación

LONGITUD TOTAL (m)	DEFORMACIÓN BAJO CARGA DE TRABAJO (cm)	DEFORMACIÓN PERMANENTE (mm)
<b>14</b>	36	18

Fuente: Autor

- **Resistencia a la compresión del concreto**

Se debe tener en cuenta las condiciones establecidas en el numeral 6.2 de la Norma NTC1329 para la construcción de postes de concreto.

- **Acero de refuerzo principal**

Se debe tener en cuenta las condiciones establecidas en el numeral 5.1 de la Norma NTC1329. Donde estipula las condiciones que se deben cumplir para si apropiada implementación de la fabricación de postes eléctricos.

- **Resistencia a la compresión del concreto**

Se debe tener en cuenta las condiciones establecidas en el numeral 6.2 de la Norma NTC1329. Que establece los cálculos realizados para el esfuerzo mecánico del concreto y su implementación en la fabricación de los postes eléctricos.

- **Acero de refuerzo principal**

Se debe tener en cuenta las condiciones establecidas en el numeral 5.1 de la Norma NTC1329.

- **Crucetas**

Son herrajes que se ubican en la parte superior de la postería en posición transversal y que tiene como propósito soportar los accesorios requeridos para sostener líneas aéreas destinadas a la conducción de energía eléctrica y el equipamiento eléctrico en subestaciones de distribución de energía; permiten sujetar Los conductores de fases en línea de distribución para alcanzar las distancias de seguridad[2].

Las crucetas deberán fijarse al poste a través de pernos pasantes, collarines, abrazaderas en U o en forma ahorcada con espárragos justo al lado y lado del poste, de tal manera que los espárragos queden rosando el poste, lo cual permite mayor estabilidad de la cruceta a girarse, deben utilizarse las diagonales, en cantidad y dimensiones indicadas en la norma correspondiente al tipo de estructura, además de lo establecido en el artículo 25.5 del RETIE[10].

Ver tabla que presenta un resumen de las respectivas normas de fabricación y prueba

Tabla 19: Normas de fabricación y pruebas

<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
<b>NTC 1920</b>	Acero estructural al carbono
<b>NTC 2076</b>	Recubrimiento de cinc por inmersión en caliente para hierro y acero
<b>NTC 2616</b>	Herraje y accesorios para redes y líneas aéreas de distribución de energía eléctricas. Crucetas, diagonales y bayonetas metálicas.

Fuente: [24]

## Herraje

Se considera bajo esta denominación todos los elementos utilizados para la fijación de los conductores a los aisladores y a las estructuras, los de fijación de cable de tierra a la estructura, los elementos de protección eléctrica de los aisladores y los accesorios del conductor[33].

Comprenden elementos tales como: collarines, espárragos, espigo para cruceta metálica, pernos de máquina, varilla de anclaje, tuerca de ojo, perno de ojo, eslabón tipo U, grapa de suspensión, grapa de retención, grapa prensahilo, grapa de operar en caliente, espigo para extremo de poste y accesorios de conexión, descargadores, camisas para cable, varillas de blindaje, crucetas y diagonales[20].

Los herrajes sometidos a tensión mecánica por los conductores y cables de guarda o por los aisladores, deben tener un coeficiente de seguridad mecánica no inferior a 2,5 respecto a su carga de trabajo.

Las grapas de retención del conductor deben soportar un esfuerzo mecánico en el cable no menor del 80% de la carga de rotura del mismo, sin que se produzca deslizamiento, todo lo anterior conforme a la norma NTC 250 en su sesión 25.5

### 2.4.1. 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

Para realizar la coordinación de protecciones, se tiene en cuenta lo siguiente Tabla 19

Tabla 20: Coordinaciones de protecciones

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Potencia Nominal	500	kVA
Tensión Primaria	34.500	V
Corriente Nominal primario	8,37	A
Tensión secundaria	440	V



<b>Corriente Nominal Secundario</b>	656,1	A
<b>Uz Corto Circuito</b>	5%	%
<b>IccP</b>	167,3	A
<b>IccS</b>	13122	A
<b>Relación corriente de corto circuito Icc/In</b>	20	—
<b>Tiempo despeje de falla S/E El Bote</b>	0,20	S

Fuente: Autor

- **ICC MONOFÁSICA EN BAJA TENSIÓN**

Para obtener la corriente por secundario se utilizaron

$$Ifbt = \frac{STR}{VLL * Zpu * \sqrt{3}}$$

(2.8)

$$Ifbt = \frac{500000}{440 * 0,05 * \sqrt{3}} = 13122 \text{ A}$$

Para la corriente provoca en media tensión una corriente de falla se implementará la ecuación (3.0)

$$IfMT = \frac{Vs}{Vp} * Ifbt$$

$$IfMT = \frac{440}{34500} * 13122 = 167,3$$

Esta corriente ocasionaría un disparo del relé de la subestación El Bote de ELECTROHUILA en un tiempo de 0,20 segundos.

- **Cálculos para protecciones del transformador trifásico, por protocolo NTC 819**

Tabla 21: Datos del transformador

<b>Datos del transformador</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Potencia</b>	500	kVA
<b>Tensión primario</b>	34500	V
<b>Tensión secundaria</b>	440	V
<b>Impedancia Uz</b>	5	%

Fuente: Autor

Tabla 22: Corriente en media tensión

<b>Calculo de corriente en MT</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Valor</b>
<b>Corriente nominal del primario</b>	$S/\sqrt{3}*V$	8,37
<b>Icc Primario</b>	$In(prim)/Zcc$	167,3

Fuente: Autor

Tabla 23: Baja tensión

<b>Calculo de corriente en BT</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Valor</b>
<b>Corriente nominal del secundario</b>	$S/\sqrt{3}*V$	656,1
<b>Icc Secundario</b>	$n(sec)/Zcc$	13122
<b>Icc Secundario referida al primario</b>	-----	167

*1,25 %	-----	209,18
---------	-------	--------

Fuente: Autor

Para que se cumpla estos parámetros no debe superar los 150 m.

Tabla 24: Protección de baja tensión

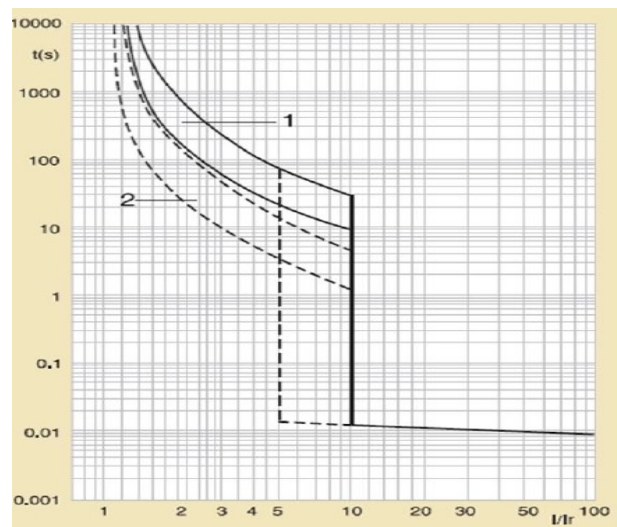
CURVA PROTECCION BT		
Icc Secundario	Factor	Tiempo
13122	62,7	0,02

Fuente: Autor.

Para obtener la curva de protección en BT se debe tomar como referencia la corriente de arranque la cual es 209,18

Para que se cumpla estos parámetros no debe superar los 80 m.

Figura 6: Curva BT



Fuente: Autor

## 2.4.2. Cálculos de Canalizaciones (Tubo, Ductos, Canaletas y Electroductos)

Para el cálculo de volumen ocupado por los conductores en una canalización, se debe conocer las áreas de sección transversal de los conductores, y el total de conductores que van por la ductería, para ello se referencia a la tabla 5 del capítulo 9 de la NTC 2050, donde se especifican las áreas de los conductores según su calibre, y de acuerdo con el diseño eléctrico, se localiza que en la mayor ocupación van 5 conductores por el ducto, que corresponde a 3 fases, 1 neutro y 1 tierra, de acuerdo a sus calibres asignados en la memoria de cálculo, se establecen que para las fases, neutro y tierra corresponde un área de 1197,15 mm<sup>2</sup>, el área de sección transversal del ducto metálico empleado de 3" pulgadas, es de 4692,98 mm<sup>2</sup>, por lo tanto el área ocupada por los conductores es de: 25,51%.

Figura 7: Para cálculos de ductos de 6 pulgadas

Ocupacion de ductos						
Cable Monopolar						
N°	Calibre	Aislante	Cantidad	Diametro* mm	Area por cable mm <sup>2</sup>	Total Grupo mm <sup>2</sup>
1	350	THW 600 V	8	22,12	384,29	3074,33
2	2	TTU 90 (XLPE-PVC) 600 V	0			
3	12	TTU 90 (XLPE-PVC) 600 V	0			
4	12	TTU 90 (XLPE-PVC) 600 V	0			
5	12	TTU 90 (XLPE-PVC) 600 V	0			
<b>Area Total</b>						<b>3074,33 mm<sup>2</sup></b>
Tipo de Ducto: Tubo de PVC Rigido, Sch. 40 y tubo de FE-AD						
Diametro: 6 Pulgadas						
Diámetro mínimo recomendado 4 "				Diametro** 153,2 mm		Area Total 18433,48 mm <sup>2</sup>
<b>Max. Ocupacion</b>			<b>40,00%</b>	<b>Ocupación</b>		<b>16,68%</b>

Fuente: Autor

Tabla 25: Cálculos de ductos de 3 pulgadas

Ocupacion de ductos						
Cable Monopolar						
N°	Calibre	Aislante	Cantidad	Diametro* mm	Area por cable mm2	Total Grupo mm2
1	4/0	THW 600 V	5	17,46	239,43	1197,15
2	2	TTU 90 (XLPE-PVC) 600 V	0			
3	12	TTU 90 (XLPE-PVC) 600 V	0			
4	12	TTU 90 (XLPE-PVC) 600 V	0			
5	12	TTU 90 (XLPE-PVC) 600 V	0			
<b>Area Total</b>						<b>1197,15 mm2</b>
Tipo de Ducto: Tubo de PVC Rigido, Sch. 40 y tubo de PE-AD						
Diametro: 3 Pulgadas						
Diámetro mínimo recomendado 2 1/2 "				Diametro** 77,3 mm		
<b>Area Total</b>						<b>4692,98 mm2</b>
<b>Max. Ocupacion</b>				<b>40,00%</b>	<b>Ocupación</b>	
					<b>25,51%</b>	

Fuente: Autor

El cálculo de ocupación de ductos cumple con lo establecido en la NTC 2050 Capitulo 9 tabla 1, donde indica que, si van más de 2 conductores por un ducto, el porcentaje de ocupación deberá ser menor del 40 %, para este caso el porcentaje de ocupación para circuitos alimentadores se encuentra en un valor de 16,68 % y 25,51% para las acometidas en 350 MCM y 4/0 AWG respectivamente.

### 2.4.3. Cálculos de Pérdidas de Energía, Teniendo en Cuenta los Efectos de Armónicos y Factor de Potencia.

Dada la naturaleza de las cargas del proyecto, solo se tomará las perdidas por efecto joule sin tener en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia

Para el caso se utiliza la siguiente fórmula

$$P=I^2 \cdot R$$

Donde:

P: Perdidas por efecto Joule

I: Corriente que circula por el conductor

R: Resistencia de conductor

Los cálculos se encuentran en la sección 1.9 CONDUCTORES PARA ACOMETIDA EN BAJA TENSION

## 2.4.4. Centro De Transformación De 34.5 kV Y Celda Seccionadora Tripolar En Sf6 Para Entrada Y Salida

- **Unidad De Protección Con Interruptor Y Seccionador En Sf6 De Entrada Y Salida.**

En este proyecto se implantará un seccionador tripolar en SF6 de entrada y salida de tipo interior de la marca SAREL, la implementación de este equipo se hace ya que tiene un nivel de seguridad excelente para el personal que lo valla a operar lo cual es fundamental porque la seguridad es el pilar de la norma retie, y su operación se realiza de forma muy sencilla entre otras prestaciones con la que cuenta este equipo y tendra que cumplir con las normas para seccionadores usados en media tensión, tanto manuales como automáticos, deben cumplir los requisitos de una norma técnica internacional como IEC 62265-1 (interruptores), IEC 62271-100 (interruptores), IEC 62271-102 (seccionadores), IEC 62271-105 (fusible–seccionador), y el cual contará, con los fusibles para MT tipo HH 10 A, calculado en la curva de coordinación, y el cual tendrá siguientes características técnicas.

Tabla 26: Características técnicas del seccionador tripolar SF6

<b>Tensión nominal</b>		<b>k V</b>	<b>36</b>
<b>Frecuencia nominal de ejercicio Necesarias para 50 HZ 1min (kV RMS)</b>	A tierra entre fases	kV	70
	A través de las distancias de aislamiento	kV	80
	A tierra entre fases	kV	170

<b>Resistencia al impulso atmosférico (valor máximo)</b>	A través de las distancias de aislamiento	kV	195
<b>Corriente nominal</b>		A	630
<b>Actual corto plazo permitido</b>		kA	12,5 -1s 16 – 1s 20 – 1s 20 – 2s
<b>Ligado al arco en el interior</b>		kA	12,5 16
<b>Tipo de protección interior y exterior</b>			IP2X IP3X

Fuente: [32]

- **Celda De Equipo De Medida**

Para la medición en media tensión se implementación de una celda marca SAREL, la selección de este equipo para este proyecto se hizo por sus prestaciones, las cuales son excelente seguridad para el operador y fácil accesibilidad al momento de su conexión, y contará con 3 transformadores de tensión y 3 de corriente y tendrán las siguientes características técnicas.

- **Transformadores De Potencial**

Estos transformadores de potencial o PT's serán de tipo interior de resina de serie de 36 kV, de clase 0,5 referencia VB36 a 34500/V3/115/V3, y cumplirá a las normas IEC 61869-1 (NTC 5933), IEC 61869-3 (NTC2207)

- **Transformadores De Corriente**

Los transformadores de corriente o CT's serán de resina tipo interior de serie 36kV clase 0,5s, referencia AB36-1 de relación 10-20/5 A, cumplirá con las normas IEC61869-1, (NTC 5933), ICE 61869-2 (NTC 2205).

- **Cálculos De Regulación.**

presentados en la sección 1.2 de la presente memoria de cálculo.

### **2.4.5. Clasificación De Áreas.**

En dicho proyecto no aplica la clasificación de áreas, teniendo en cuenta que no existe ningún riesgo ambiental, químico o explosivo, los cuales están especificados en la norma NTC 2050.

### **2.4.6. Elaboración De Planos Y Esquemas Eléctricos Para Construcción.**

Adjunto a esta memoria de cálculo se presenta plano para la construcción.

Listado de planos.

### **2.4.7. Especificaciones De Construcción Complementarias**

No aplica para los planos, incluyendo los tipos técnicos de equipos, materiales y sus condiciones particulares, ya que no son fundamentales para el diseño de la subestación.

### **2.4.8. Establecer Las Distancias De Seguridad Requeridas.**

De acuerdo la figura 13.1 y la tabla 13.1 de RETIE 2013, se establecen para el proyecto las distancias de seguridad requeridas.

de la edificación, garantizando que la distancia cumple con RETIE.

### **2.4.9. Justificación Técnica De Desviación De La NTC 2050**

No se presenta desviación de la norma, ya que en dicho diseño no se requiere porque cumple con toda la normatividad técnica de construcción.

### **2.4.10. Los Demás Estudios Que El Tipo De Instalación**

Requiera Para Su Correcta Y Segura Operación, Tales Como Condiciones Sísmicas, Acústicas, Mecánicas O Térmicas.



No aplica, los estudios de las condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas, ya que no se encuentran en una zona que presenten dichas condiciones para realizarse estos estudios. Por lo tanto, no aplica en planos, memorias de cálculo y normas ELECTROHUILA.

### 2.4.11. Costos del Proyecto

En la tabla 27 se puede evidenciar la respectiva relación de los costos considerados para la ejecución del proyecto.

Tabla 27: Costos del Proyecto

Descripción	Unidad	Valor
<b>Poste eléctrico de 12 metros</b>	1	\$ 1'700.000
<b>Herraje general</b>	-----	\$ 4'500.000
<b>Ductería general</b>	-----	\$ 2'750.000
<b>Conductor XLP al 133%</b>	25 m	\$ 5'700.000
<b>Conos premoldiados de 38kV 3M, por caja de 3</b>	6	\$ 8'100.000
<b>Transformador seco de 500kVA a 440/257 Marca MAGNETRON</b>	1	\$ 42'317,900
<b>DPS poliméricos de 36kv</b>	3	\$ 3'192.000
<b>Aisladores poliméricos de 36kV</b>	3	\$ 1'250.000
<b>Seccionador monopolar de 36kV</b>	3	\$ 1'533.600
<b>Conductor AWG – MCM 600</b>	48 metros	\$ 5'520.000
<b>Conductor AWG – MCM 350</b>	480 metros	\$ 26'400.000
<b>Conductor AWG – MCM 1/0</b>	452 metros	\$ 7'412.800
<b>Conductor desnudo AWG – MCM 2/0</b>	45 metros	\$ 877.500
<b>Celda de seccionamiento tripolar marca SAREL</b>	1	\$ 26'760.500

<b>Fusibles tipo HH de 10 amperios</b>	3	\$ 948.000
<b>Celda con quipo de medida marca SAREL con transformadores de corriente y de tensión</b>	1	\$ 36'125.460
<b>Tablero de distribución general</b>	1	\$ 22'300.700
<b>Banco de condensadores automático</b>	1	\$ 14'324.200
<b>Diseños aprobados por ELECTROHUILA</b>	-----	\$ 7'450.000
<b>Certificación RETIE</b>	-----	\$ 4'500.000
<b>Mano de obra calificada</b>	-----	\$ 74'500.000
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 298'162.660</b>

Fuente: Autor

Nota: el costo de los materiales referenciados estas tablas pueden presentar variaciones debido al precio del dólar y por consiguiente tendra que reajustarse.

## 3. Conclusiones y recomendaciones

### 3.1. Conclusiones

- De acuerdo con la revisión de la literatura se puede concluir, que, para el diseño de una subestación eléctrica, se deben tener en cuenta norma NTC 2050 y Retie; las cuales dan garantía en las instalaciones, equipos y productos usados en toda la generación, transmisión, transformación, distribución y uso final de la energía eléctrica cumplan con todos los objetivos legítimos con la protección de la vida y la salud humana; vida animal y vegetal. De igual manera reglamento técnico colombiano de electricista establece lineamientos para el diseño y la construcción de subestaciones eléctricas.
- Las condiciones identificadas en la empresa Bolivariana según la revisión realizada, la capacidad total instalada es de 454.46 kVA, la cual cuenta con transformador de 300 kVA con un nivel de tensión de 13,200 V.
- La empresa se encuentra conectada a un nivel de tensión de 13200 voltios.
- La medición en media tensión está en dos transformadores de corriente (CT's) y dos transformadores de tensión (PT's).
- cuenta con un transformador de 400 kVA de 440/257 voltios, se observó un tablero de distribución principal con breaker de 600 amperios, a la intemperie sin protección por afectaciones climáticas.
- Cuenta con banco de condensadores manual de 8 condensadores.
- tienen 2 tableros para el CCM, y 3 tableros para los molinos, 1 para el mezclado y otro para el secado.
- La subestación no cuenta con una malla a tierra apropiada.

- Con los estudios realizados, se calculó un transformador de 500 kVA aumentando el nivel de tensión a 34,5 kV para disminuir el costo de kW/h. lo cual nos brinda una mayor confiabilidad.
- Para el diseño de subestaciones se concluye que debe seguir el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (retie) y las normas establecidas en el tales como.
- Requerimientos generales de las instalaciones eléctricas
- Clasificación de los niveles de tensión
- Distancias de seguridad
- Campos electromagnéticos
- Sistema de puesta a tierra
- Protecciones contra para rayos
- Requisitos de producto
- Requisitos para proceso de transmisión
- Requisitos para el proseso de trasformación (subestaciones)
- Requisitos para el proceso de distribución
- Requisito para uso final
- Prohibiciones
- Demostraciones de la conformidad

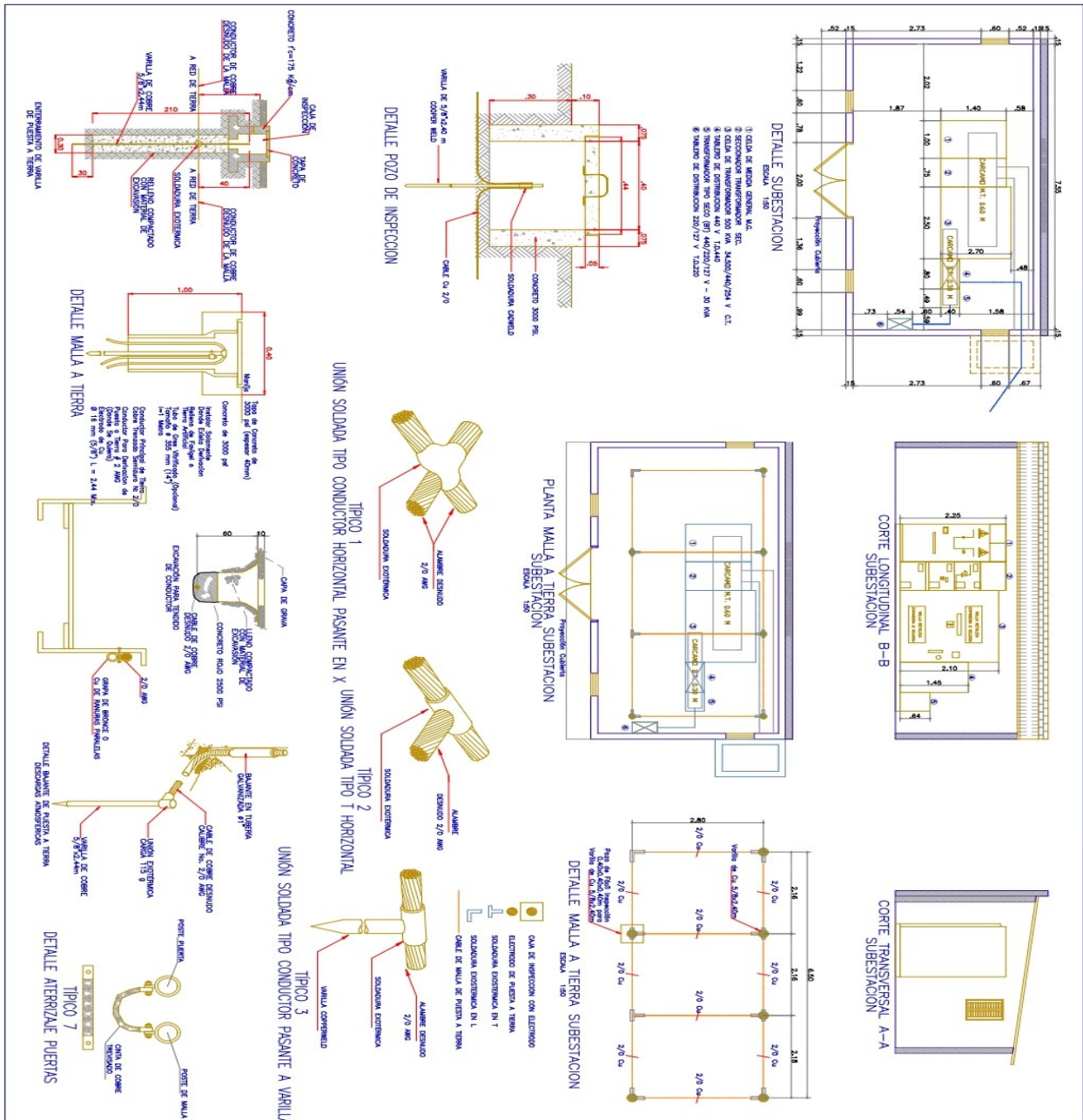
## Recomendaciones

1. Para el diseño, de la subestación se recomienda seguir los lineamientos planteados, ya que en este documento cuenta con todas las normas para el diseño de una subestación eléctrica en media tensión, como normas NTC 2050 y normas RETIE.
2. Tambien se debe tener en cuenta posibles modificaciones de las normas ya mencionadas, en el momento del diseño e implementación, ya que el comité CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO puede realizar cambios.



B. Plano 2: Detalles de puesta a tierra

en este plano tendremos los puntos de puesta a tierra, en la subestación, también cuenta con dimensiones de barras, formas de unión del conductor 2/0.

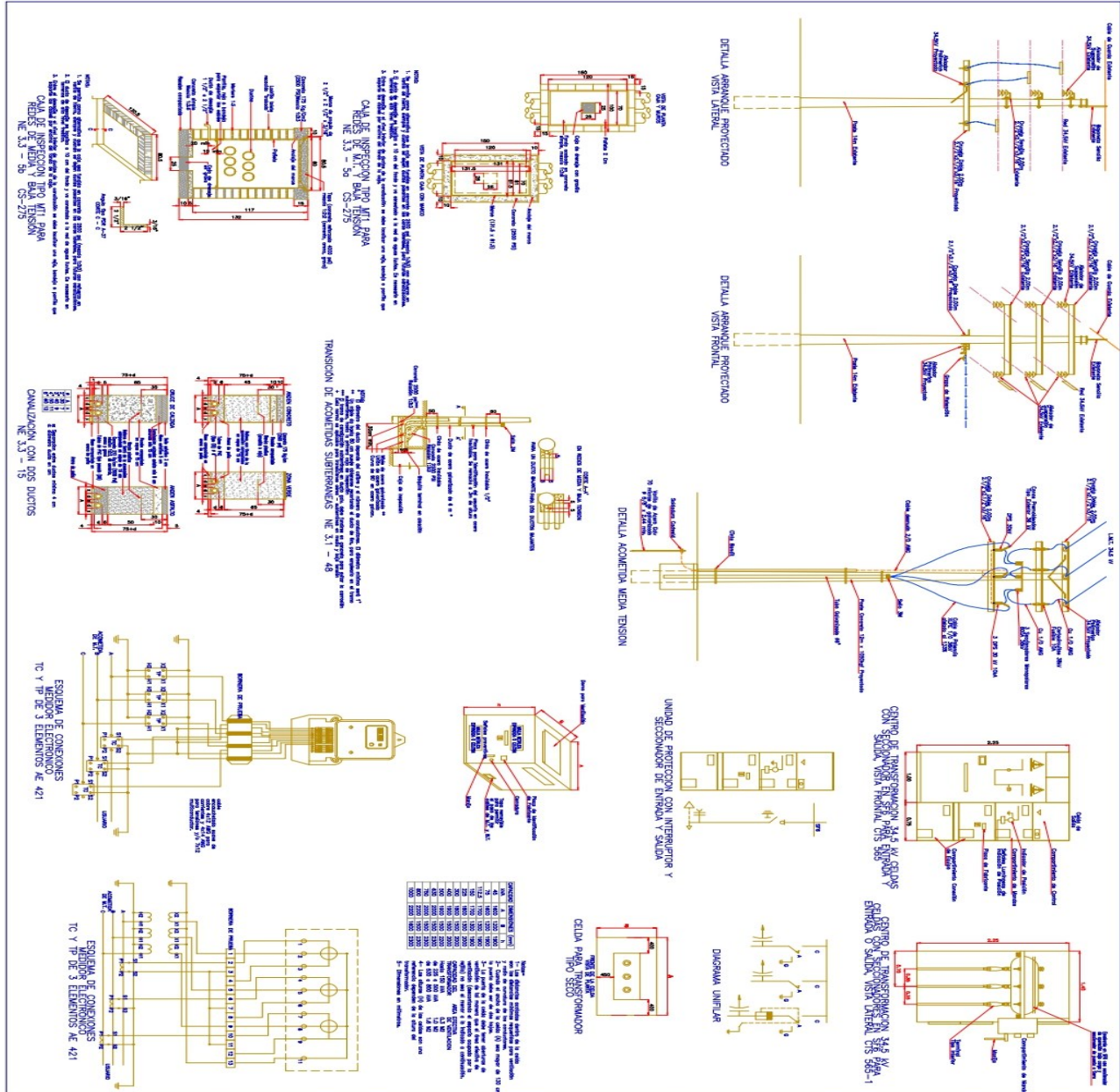






D. Plano 4: Detalles de construcción

En este plano tendremos datos de la estructura, conductores de media tensión, digrama de conexión del contador para la medición, así mismos cálculos de construcción de los cárcamos y conexión del seccionador tripolar SF6.





## Bibliografía

- [1] J. Francisco and C. Lemos, "Diseño Y Construcción De Un De Uso Industrial Para Medida En Baja Tensión," 1991.
- [2] Z. El and J. Garc, "Cálculo y diseño de una subestación destinada a tracción eléctrica en ' Salou ' Cálculo y diseño de una subestación destinada a tracción eléctrica en ' Salou ' Titulación : Enginyeria Tècnica Industrial especialitat Electricitat," 2014.
- [3] I. R. Dias, "Guía de estudios."
- [4] Juan Carlos Sanchez Sosa, "Universidad autónoma de nuevo león facultad de psicología," pp. 1–188, 2009, [Online]. Available: <http://www.uv.es/lisis/sosa/tesis-sanch-sosa.pdf>.
- [5] C. Serie, "li : l " i."
- [6] "SECCIONADOR MONOPOLAR DE OPERACIÓN SIN CARGA PARA INTEMPERIE REF GAVM CARACTERÍSTICAS :," no. 21, p. 3127420, 2012.
- [7] U. Zacatenco, "Instituto Politecnico Nacional Escuela Superior De Ingenieria Y Arquitectura," 2006.
- [8] J. Arias, T. Rengifo, and M. Jaramillo, *Manual tècnico*, vol. 1. 2007.
- [9] E. N. Bajo, P. Y. Encapsuladas, and E. N. Sf, "Pablito Diseño De Subestaciones Eléctricas De Distribución Manual," 2014.

- [10] Maraver.jimbo, "Aparamenta subestaciones electricas," pp. 1–41.
- [11] الكندي, "No Titleعمان سلطنه," *Occup. Med. (Chic. Ill)*., vol. 53, no. 4, p. 130, 2017.
- [12] D. Viteri Toquica, C. Garzón Bustos, and A. Narvaéz Cubillos, "Análisis de Confiabilidad en Subestaciones Eléctricas Tipo Maniobra Implementando el Transformador de Tensión con Núcleo de Potencia TT - Reliability Analysis in Maneuver Type Electrical Substations Implementing Tension Transformer with Power Core," *Ingeniería*, vol. 22, no. 1, pp. 65–82, 2017, [Online]. Available: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-750X2017000100065&lang=es%0Ahttp://www.scielo.org.co/pdf/inge/v22n1/0121-750X-inge-22-01-00065.pdf](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-750X2017000100065&lang=es%0Ahttp://www.scielo.org.co/pdf/inge/v22n1/0121-750X-inge-22-01-00065.pdf).
- [13] E. Harper, "Elementos de diseño de subestaciones eléctricas Harper." p. 594, 1983.
- [14] J. A. L. ESCOBAR, "Diseño De Subestaciones De Media Tensión," *Asp. Gen. La Planif. Tribut. En Venez.*, vol. 2009, no. 75, pp. 31–47, 2009.
- [15] M. y A. Eléctricos, "Introducción a Transformador Eléctrico de Potencia," pp. 1–64, 2018.
- [16] L. Enríquez, "Transformadores de tensión. Transformadores de corriente.," *Modul. li - 5 Transform. Instrumentos*, vol. 2, pp. 1–43, 2016, [Online]. Available: <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/tydee/moduloi.pdf>.
- [17] ABB, "Transformador de Potencia en Alta Tensión Especificación Técnica y Diseño – Desempeño General y Valor Global," pp. 1–42, 2017.
- [18] Anonimo, "Subestaciones Y Tableros De Distribucion," p. 25, 2020, [Online]. Available: [http://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/subestaciones\\_y\\_tableros\\_de\\_distribucion.pdf](http://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/subestaciones_y_tableros_de_distribucion.pdf).
- [19] B. AGUIRRE SAIZ, "Manual De Mantenimiento Y Supervisión General De Una Subestación Eléctrica," 2014.
- [20] EERSSA, "Plan Operativo De Mantenimiento De Subestaciones," 2014.

- [21] E. Superior *et al.*, “d Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación Presentada por :,” 2011.
- [22] C. B. D. E. Diseño, “Proceso De Plantillado De Redes Rurales \_\_\_\_\_ 103 Aspectos De Protecciones En Redes De Distribución \_\_\_\_\_ 120,” 2018.
- [23] R. J. M. y M.-M. R. Vargas E., Reynoso G., Villarreal L., “Diseño de un Manipulador Industrial para Aplicaciones de Limpieza en Subestaciones Eléctricas,” 2001.
- [24] mheducation, “Ensayo de transformadores 4,” p. 16, 2020, [Online]. Available: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448141784.pdf>.
- [25] C. D. E. Cambios, U. Cet, J. U. Cet, and D. D. Mm, “Especificación técnica para aisladores poliméricos,” pp. 1–16, 2017.
- [26] E. de C. y S. Dpto. de Ingeniería Eléctrica, “Tema IV: Transformadores,” p. 58, 2009, [Online]. Available: [http://dfs.uib.es/GTE/education/industrial/con\\_maq\\_electriques/teoria/Teoria Oviedo/Primer Parcial/Presentaciones en formato PDF/Tema4.pdf](http://dfs.uib.es/GTE/education/industrial/con_maq_electriques/teoria/Teoria Oviedo/Primer Parcial/Presentaciones en formato PDF/Tema4.pdf).
- [27] O. En, “Instituto Politecnico Nacional Instituto Politecnico Nacional,” pp. 1–6, 2008.
- [28] A. M. M. da Silveira, “Transformadores,” *Neutro à Terra*, no. 8, 2011, doi: 10.26537/neutroaterra.v0i8.356.
- [29] S. TRANSFORMERS, “Transformadores de POTENCIA INFORMACION TECNICA.”
- [30] ペインクリニック学会, “No Title عمان سلطنة佩インクリニック学会治療指針 2,” ペインクリニック学会治療指針 2, vol. 126, no. 1, pp. 1–7, 2019.
- [31] T. D. E. T. Circuitos *et al.*, “fi, ’i’Éto.”
- [32] E. Ras Oliva, “Transformdores de potencia, medida y de proteccion- Enrique Ras.pdf.” p. 303, 1994, [Online]. Available:

<https://dotorresg.files.wordpress.com/2011/12/transformadores-de-potencia-de-medida-y-de-proteccion.pdf>.

[33] "INGENIERÍA BÁSICA DE SUBESTACIÓN," 2014.

[34] E. A. Martínez Londoño, "Diagnóstico De Transformadores De Corriente Y De Potencial a Partir De La Evaluación Y Análisis De Resultados De Pruebas," p. 111, 2018, [Online]. Available:

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13854/1/MartinezLondoñoEulerAndres2018.pdf>.

, Grupo Editorial Editec SPA, 235-237