



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

## **DISEÑO E INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN EN EL CENTRO COMERCIAL OAKLAND MALL**

**Héctor Guillermo Marroquín Pérez**

Asesorado por el Ing. José Guillermo Bedoya Barrios

Guatemala, julio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO E INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN EN EL CENTRO  
COMERCIAL OAKLAND MALL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**HÉCTOR GUILLERMO MARROQUÍN PÉREZ**

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ GUILLERMO BEDOYA BARRIOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, JULIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

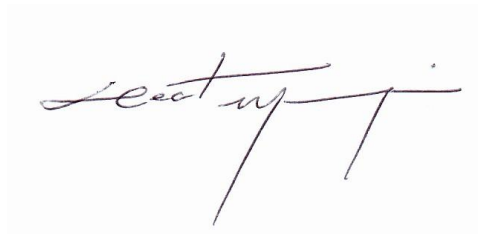
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **DISEÑO E INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN EN EL CENTRO COMERCIAL OAKLAND MALL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha febrero de 2009.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Héctor Guillermo Marroquín Pérez', is centered on the page. The signature is fluid and cursive, with a prominent horizontal stroke across the middle.

**Héctor Guillermo Marroquín Pérez**

Guatemala 11 de Octubre del 2012


Ingeniera  
Sigrid Alitza Calderón de León  
Directora de Unidad de EPS  
Presente

Ing. Calderón de León:

Por este medio informo a usted que he revisado el trabajo de Ejercicio Profesional Supervisado titulado "**DISEÑO E INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN EN EL CENTRO COMERCIAL OAKLAND MALL**", elaborado por el estudiante **Héctor Guillermo Marroquín Pérez**, con carné **88-12042**, el cual fue desarrollado y concluido en forma satisfactoria, cumpliendo con el contenido y objetivos fijados, en el entendido de que el autor de este trabajo y el suscrito, como asesor, somos responsables de su contenido.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente

  
ING. ELECTRICISTA  
JOSE GUILLERMO BEDOYA BARRIOS  
Carné No. 4246  
Ing. José Guillermo Bedoya Barrios  
ASESOR

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 11.2013  
Guatemala, 06 de MARZO 2012.

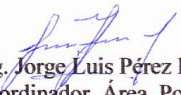
Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
“DISEÑO E INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN EN EL CENTRO  
COMERCIAL OAKLAND MALL”, del estudiante Héctor  
Guillermo Marroquín Pérez que cumple con los requisitos establecidos  
para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
Ing. Jorge Luis Pérez Rivera  
Coordinador Área Potencia



SRO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 12 de marzo de 2013.  
Ref.EPS.DOC.314.03.13.

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

Estimada Ingeniera Calderón de León.

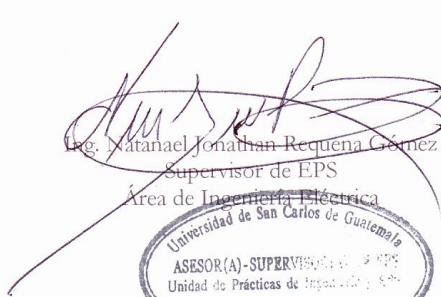
Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Héctor Guillermo Marroquín Pérez** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, con carné No. **8812042**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DISEÑO E INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN EN EL CENTRO COMERCIAL OAKLAND MALL”**.

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

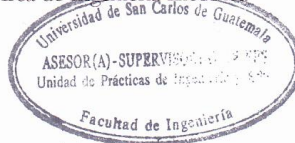
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

  
Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez  
Supervisor de EPS

Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo  
NJRG/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 12 de marzo de 2013.  
Ref.EPS.D.203.03.13.

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

Estimado Ingeniero Puente Romero.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DISEÑO E INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN EN EL CENTRO COMERCIAL OAKLAND MALL"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Héctor Guillermo Marroquín Pérez**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. José Guillermo Bedoya Barrios y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

  
Inga. Sigrid Antza Calderón de León  
Directora Unidad de EPS

SACdL/ra





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 12. 2013.

**El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; HÉCTOR GUILLERMO MARROQUÍN PÉREZ titulado: “DISEÑO E INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN EN EL CENTRO COMERCIAL OAKLAND MALL” procede a la autorización del mismo.**

  
**Ing. Guillermo Antonio Puente Romero**



**GUATEMALA, 20 DE MARZO 2012.**

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. Centros: de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM), Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 482 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO E INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN EN EL CENTRO COMERCIAL OAKLAND MALL**, presentado por el estudiante universitario: **Héctor Guillermo Marroquín Pérez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 9 de julio de 2013

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Porque si no fuera por él no estaría viviendo este momento tan especial. Por darme la fortaleza y sabiduría para poder darle fin a otra meta más en mi vida.

### **Jesús y Virgen María**

Por protegerme y guiarme en el camino de la vida.

### **Mis padres**

Héctor Marroquín y Paula Pérez.

Por darme la vida y apoyarme. Agradeciéndoles sus múltiples esfuerzos. Gracias por su amor, paciencia, comprensión, por darme siempre su apoyo durante toda mi vida e impulsarme a seguir adelante, gracias por sus sabios consejos y su ejemplo de éxito y superación.

### **Mis hermanos**

Belinda, Eswar y Werner Marroquín.

Por el apoyo que constantemente e incondicional me han brindado durante toda mi vida. Gracias mis queridos hermanos.

Archivaldo, Budu y Josefa Marroquín

Por darme alegría constantemente con sus ocurrencias y juegos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Mi familia**

Por el apoyo que constantemente me han brindado.

**La Universidad de San Carlos de Guatemala y Facultad de Ingeniería**

Por darme el más generoso de los obsequios: la enseñanza.

**Al ingeniero Guillermo Bedoya**

Por su apoyo, por brindarme sus acertados conocimientos, su tiempo y su valiosa orientación, durante este proceso. Muchas gracias.

**La empresa CISMA, a Jorge Lainfiesta y Luis Soria**

Por su apoyo durante la realización del Ejercicio Profesional Supervisado.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	1
1.1. Reseña histórica.....	1
1.2. Ubicación.....	1
1.3. Actividades que realiza.....	1
1.4. Misión y Visión.....	2
1.5. Valores.....	2
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Equipo eléctrico utilizado en subestaciones eléctricas.....	3
2.2. Banco de tierra.....	3
2.3. Transformadores de potencial (TP's).....	3
2.4. Transformadores de corriente (TC's).....	4
2.5. Apartarrayos.....	4
2.6. Interruptores.....	5
2.7. Fusibles.....	6
2.8. Reguladores de voltaje.....	7
2.9. Baterías.....	8
2.10. Cargadores de baterías.....	8

2.11.	Hilo de guarda.....	9
2.12.	Aisladores.....	10
2.13.	Cuchillas o seccionadores.....	10
2.14.	Relevadores de protección.....	11
2.15.	Descargadores.....	11
2.16.	Nivel de aislamiento en subestaciones.....	12
2.16.1.	Nivel de aislamiento.....	12
2.16.2.	Coordinación de aislamiento.....	12
2.16.3.	Tensión nominal.....	12
2.16.4.	Nivel Básico de Impulso (NBI).....	13
2.16.5.	Determinación de distancias dieléctricas en subestaciones.....	13
2.16.5.1.	Tensión crítica de flameo (TCF).....	13
2.16.5.2.	Distancias dieléctricas entre fases.....	15
2.16.5.3.	Alturas de equipos sobre el nivel del suelo (hs).....	15
2.16.5.4.	Alturas de barras colectoras sobre el nivel del suelo (hb).....	16
2.16.5.5.	Alturas de remate de las líneas de transmisión en la subestación.....	16
2.16.5.6.	Distancias de seguridad.....	17
2.16.5.7.	Distancias de zonas de circulación de personal.....	17
2.16.5.8.	Distancias de zona de trabajo.....	18
2.17.	Redes o mallas de tierra.....	21
2.17.1.	Elementos que componen la red de tierras.....	21
2.17.2.	Resistencia de la conexión a tierra.....	22
2.17.3.	Resistencia de puesta a tierra con la malla.....	23
2.17.4.	Diseño de la malla a tierra.....	24

2.17.5.	Conductor de la malla de tierra.....	27
2.17.6.	Potencial de contacto y de paso de la malla.....	27
2.17.7.	Longitud del conductor de la malla de tierra.....	28
2.17.8.	Consideraciones de diseño de la malla a tierra.....	29
2.17.9.	Método de Werner.....	30
2.18.	Diferencia de la subestación Oakland Mall y la convencional a la intemperie.....	32
3.	DISEÑO DE SUBESTACIÓN OAKLAND MALL.....	33
3.1.	Diagrama unifilar de la subestación Oakland Mall.....	33
3.2.	Selección del nivel básico de impulso (NBI).....	34
3.3.	Análisis técnico de la subestación Oakland Mall.....	35
3.3.1	Diseño de distancias dieléctricas.....	36
3.3.2	Área de instalación de la subestación.....	42
3.3.3	Distancias de equipos.....	43
3.4.	Diseño de redes de tierras de la subestación.....	44
3.5.	Selección de características técnicas de los equipos.....	52
3.6.	Configuración de poste acometida primaria subterránea de 69 kilovoltios.....	56
4.	INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN OAKLAND MALL.....	57
4.1.	Red de tierras.....	57
4.2.	Alimentación de la subestación.....	59
4.3.	Colocación de transformador.....	59
4.4.	Llenado del transformador.....	60
4.5.	Instalación de los transformadores de medición.....	60
4.6.	Instalación de apartarrayos.....	62
4.7.	Instalación del interruptor SF6.....	63
4.8.	Instalación del seccionador.....	64

4.9.	Tablero de control.....	64
4.10.	Cargador y banco de baterías.....	65
4.11.	Alimentación de la subestación.....	66
4.12.	Salida de transformador 13,2 kilovoltios.....	67
4.13.	Subestación terminada.....	68
5.	PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD EN LA INSTALACIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.....	69
5.1.	Introducción.....	69
5.2.	Peligros.....	69
5.3.	Normas técnicas aplicables.....	70
5.4.	Normas y especificaciones que se aplican en Guatemala.....	71
5.5.	Procedimientos de seguridad en el lugar de trabajo.....	72
5.6.	Distancias de operación segura.....	73
5.7.	Primeros auxilios.....	74
6.	EQUIPO NECESARIO PARA EL MANTENIMIENTO DE LA SUBESTACIÓN.....	75
6.1.	Introducción.....	75
6.2.	Ropa de protección en el mantenimiento de subestaciones.....	76
6.3.	Equipo de protección al trabajar en líneas vivas.....	77
6.4.	Protección para trabajar en alturas.....	78
6.5.	Elementos para trabajo a distancia.....	79
6.6.	Herramientas de mano aisladas.....	79
6.7.	Puesta a tierra temporal.....	80
	CONCLUSIONES.....	81
	RECOMEDACIONES.....	83
	BIBLIOGRAFÍA.....	85



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Altura y apertura de brazos de 1,75 metros.....	18
2.	Altura de figura izquierda 1,75 metros y derecha 1,25 metros.....	19
3.	Aislamiento con barra y distancia de fase a tierra (df-t).....	19
4.	Aislamiento horizontal izquierdo igual a distancia de fase a tierra (df-t) y derecha 2,25 metros.....	19
5.	Distancia vertical de seguridad 2,25 metros y arriba igual a distancia de fase a tierra (df-t).....	20
6.	Distancia de zona de trabajo arriba de la mano 2,25 metros y distancia de fase a tierra a la parte viva igual a distancia de fase a tierra (df-t).....	20
7.	Tensión de paso cerca de una estructura conectada a tierra.....	26
8.	Tensión de contacto de una estructura conectada a tierra.....	26
9.	Diagrama unifilar subestación Oakland Mall.....	33
10.	Planta de la subestación Oakland Mall.....	42
11.	Corte longitudinal de la subestación.....	43
12.	Red de tierras de la subestación.....	44
13.	Impedancia de la red de tierras.....	49
14.	Vista de la planta y sección de cimentación del transformador.....	53
15.	Detalle de la estructura del seccionador.....	54
16.	Detalle de la estructura del interruptor.....	55
17.	Elevación frontal y lateral de la acometida de 69 kilovoltios.....	56
18.	Red de tierras centro comercial Oakland Mall.....	57
19.	Zanja para colocación de tubería que alimentará la subestación.....	59

20.	Transformador de potencia en subestación.....	59
21.	Llenado del transformador.....	60
22.	Colocación de transformadores de medición, combinados TC's y TP's.....	61
23.	Instalación de apartarrayos.....	62
24.	Colocación del interruptor de potencia SF6.....	63
25.	Instalación de las cuchillas seccionadoras.....	64
26.	Interior y exterior del tablero de control.....	65
27.	Cargador de baterías y banco de baterías.....	65
28.	Cable XLP 69 kilovoltios de alimentación y terminaciones.....	66
29.	Salida de transformador 13,2 kilovoltios hacia el centro comercial.....	67
30.	Subestación en el centro comercial Oakland Mall terminada.....	68
31.	Ropa de protección en el mantenimiento de subestaciones.....	76
32.	Caretas y capuchones contra arco eléctrico.....	77
33.	Equipo de protección al trabajar en líneas vivas.....	77
34.	Equipo en líneas vivas.....	78
35.	Protección para trabajar en alturas.....	78
36.	Elementos para trabajo a distancia.....	79
37.	Herramientas de mano aisladas.....	79
38.	Puesta a tierra temporal.....	80

## TABLAS

I.	Tipos de suelo y su resistividad.....	22
II.	Valores de nivel de aislamiento al impulso NBI a 69 kilovoltios.....	34
III.	Factores de corrección del NBI según la altitud.....	35
IV.	Datos de la altitud en la ciudad de Guatemala.....	35
V.	Dimensiones y libranzas en subestaciones de 69 kilovoltios.....	36
VI.	Comparación de distancias dieléctricas en la subestación.....	41

VII.	Distancias mínimas a partes energizadas descubiertas.....	41
VIII.	Resistencia de red de tierras para una subestación.....	46
IX.	Factores de decremento.....	48
X.	Especificaciones del transformador de potencia.....	52
XI.	Materiales para la construcción de la red de tierras.....	58

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>H</b>	Altura de equipos
<b>H I</b>	Altura de llegada de líneas a la subestación
<b>H b</b>	Altura mínima de las barras sobre el nivel del suelo
<b>A</b>	Amperios
<b>cm</b>	Centímetros
<b>CA</b>	Corriente Alterna
<b>CD</b>	Corriente Directa
<b>H cp</b>	Distancia de circulación de personal
<b>d f-t</b>	Distancia de fase a tierra
<b>D pararrayos</b>	Distancia de pararrayos
<b>km</b>	Kilómetro
<b>kW</b>	Kilovatios
<b>kV</b>	Kilovoltios
<b>MVA</b>	Mega voltios amperios
<b>MW</b>	Megavatios
<b>m</b>	Metros
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>NBI</b>	Nivel Básico de Impulso
<b><math>\Omega</math></b>	Ohmios
<b>H e</b>	Primer nivel de barras
<b>s</b>	Segundo
<b>V</b>	Voltios
<b>VA</b>	Voltios amperes



## **GLOSARIO**

### **Apartarrayos**

Son dispositivos eléctricos formados por una serie de varios elementos resistivos no lineales y explosores que limitan la amplitud de las sobretensiones que se producen en una subestación.

### **Corriente de cortocircuito**

Es la corriente que determina los esfuerzos electrodinámicos máximos que pueden soportar los equipos.

### **Descargas parciales**

Es una descarga eléctrica intermitente, de alta frecuencia que se localiza en una porción de un sistema aislante, sometido a un gradiente de tensión que resulta de una ionización gaseosa que ocurre cuando el gradiente de tensión excede de un valor de gradiente crítico.

### **Diagrama unifilar**

Es el resultado de los arreglos físicos en alta y baja tensión en forma mono polar y considerando todo el equipo mayor que interviene en una subestación.

<b>Distancia de seguridad</b>	Es la distancia mínima de seguridad a los espacio libres que permiten circular y efectuar maniobras al personal dentro de una subestación.
<b>Distancia entre fases</b>	Es la distancia mínima entre fases tomando en cuenta la tensión que puede aparecer entre fases.
<b>Especificaciones</b>	Son un conjunto de reglas escritas, de fácil comprensión, con una descripción clara y precisa de los requisitos técnicos de los materiales, equipos o servicios, que un comprador elabora basado en una o varias normas.
<b>Interruptor</b>	Dispositivo destinado al cierre o apertura de la continuidad de un circuito eléctrico bajo carga, en condiciones normales o de cortocircuito.
<b>Nivel de aislamiento</b>	Es la resistencia de aislamiento que debe tener un equipo eléctrico.
<b>Normas</b>	Conjunto de publicaciones editadas por organismos especializados, que sirven de base en el diseño de instalaciones, equipos o partes dentro de cualquier área de la ingeniería.

<b>Red de tierra</b>	Es el conjunto de conductores para proporcionar un camino de baja impedancia para la circulación de altas corrientes a tierra en instalaciones eléctricas.
<b>Relevadores</b>	Son dispositivos electromagnéticos o electrónicos que protegen lo equipos de una instalación eléctrica de los efectos destructivos de una falla, y reducen sus efectos y daños.
<b>Subestación</b>	Conjunto de dispositivos eléctricos, que forman parte de un sistema eléctrico de potencia.
<b>Transformador</b>	Equipo electromagnético cuya función principal es reducir o aumentar la magnitud tensión o corriente dependiendo de la finalidad del transformador.





## RESUMEN

El conocimiento para el diseño de una subestación eléctrica en el ámbito comercial es de suma importancia, ya que toda persona que trabaja en el área eléctrica tarde o temprano se encontrará con el diseño, instalación y mantenimiento de las mismas. Es por ello que este trabajo de graduación se enfoca hacia el diseño e instalación de subestaciones eléctricas de 69 kilovoltios en centros comerciales.

El primer capítulo se enfoca en las generalidades de la empresa, como su reseña histórica, actividades a la que se dedica la empresa.

El segundo capítulo se presenta un marco teórico con información de los equipos en una subestación eléctrica, desde transformadores de potencia, interruptores, seccionadores, pararrayos, TPs y TCs combinados.

El tercer capítulo se expone los procedimientos a seguir para evitar riesgos en la instalación de una subestación, tomándose en cuenta los peligros que puede tener el personal en la instalación, como en el mantenimiento, procedimientos de seguridad, distancias de seguridad, vestimenta, primeros auxilios en caso de accidente.

El capítulo cuarto se enfoca al diseño de la subestación, se presentan temas como: diagrama unifilar, selección del Nivel Básico de Aislamiento al Impulso NBI, cálculo de distancias dieléctricas, distancias de equipos, configuración de la subestación.

El quinto capítulo se refiere a la instalación de la subestación, red de tierras, alimentación de la subestación, colocación de equipos como transformador de potencia, interruptor, seccionador TPs y TC's combinados etc. Puesta en funcionamiento de la subestación.

Por último describe todo el equipo necesario para el mantenimiento de la subestación, equipos de protección, ropa de protección, herramientas para el mantenimiento de la subestación.

# OBJETIVOS

## General

Elaborar un documento que describa el diseño y los procedimientos a realizar en la Instalación de una subestación de 5 mega voltios amperios en 69 kilovoltios para alimentar el centro comercial Oakland Mall.

## Específicos

1. Dar a conocer los equipos y funcionamiento de una subestación.
2. Elaborar el diseño de una subestación de 69 kilovoltios aplicable en centros comerciales.
3. Ejecutar la instalación y pruebas a un transformador de potencia de 5 mega voltios amperios de 69 kilovoltios, en el centro comercial Oakland Mall.
4. Elaborar los procedimientos para la instalación de equipos en una subestación de 69 kilovoltios tales como transformador de potencia, interruptor, seccionador TP's y TC's pararrayos aplicables en el centro comercial.
5. Establecer los criterios a seguir en el mantenimiento de subestaciones eléctricas.



## INTRODUCCIÓN

En la construcción de un centro comercial de grandes proporciones, para conectarlo al sistema de distribución de energía eléctrica, se precisa de una subestación eléctrica con capacidad adecuada para no provocar un desbalance en la carga de la línea de distribución. Para alcanzar este objetivo, se necesita diseñar una subestación eléctrica que juega un papel determinante; por ello es importante seleccionar el equipo adecuado que compone la subestación.

El ingeniero electricista a cargo del diseño de una subestación eléctrica debe tener en cuenta el proyecto de construcción de la misma, cálculos de la subestación, debe seleccionar el equipo de protección, transformación, conexión, tierras y control que considere el más adecuado, de acuerdo a las necesidades de dicha subestación y el propósito de la misma. Además se debe seleccionar la ubicación adecuada considerando varios factores, tales como: ambientales, acceso a la línea de distribución, distancias y proyecciones futuras.

Las subestaciones eléctricas son de vital importancia, pues sus diversas funciones para transformar voltajes a niveles aptos para su distribución, para su respectiva transmisión o simplemente para derivar circuitos, éstas se conforman por una serie de dispositivos en conjunto forman una subestación eléctrica.

Los dispositivos de que conforman una subestación eléctrica se pueden mencionar: transformador de potencia, interruptor, seccionador, TP's y TC's combinados, apartarrayos.







# **1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

## **1.1. Reseña histórica**

La empresa Corporación de Ingeniería y servicios de Mantenimiento, S.A. CISMA, fue creada con el fin de llenar el espacio que hay en el mercado de instalaciones y mantenimiento eléctrico en Guatemala, ya que el servicio es personalizado y con el cumplimiento de servir a los clientes. Fue creada en 1991, cuando el señor Luís Soria se unió con el señor Jorge Lainfiesta y así formaron la empresa CISMA.

## **1.2. Ubicación**

Se ubica en la 2 calle 32-77 zona 7, Ofibodegas San Mateo Bodega no.2 de la ciudad de Guatemala. Tel: (502) 2433-9585.

## **1.3. Actividades que realiza**

Las actividades que realiza la empresa CISMA S.A., parten de dos grupos el de mantenimiento a equipo eléctrico y el de instalaciones eléctricas.

Mantenimiento de equipo eléctrico a empresas, tanto en la ciudad, como en el interior de la república, y en algunos países de Centro América.

Instalaciones eléctricas, subestaciones, acometidas e instalación de equipo eléctrico.

#### **1.4. Misión y Visión**

- Misión

“La misión de la empresa es lograr un crecimiento constante, sostenible y rentable ofreciendo al cliente servicios de mantenimiento é instalaciones eléctricas, reconocidos por su marca, alto valor, calidad y cumplimiento”.

- Visión

“Ser la opción preferida para clientes en el área de electricidad”.

#### **1.5. Valores**

Trabajo en equipo, integrarse a la organización para obtener los objetivos trazados. Integridad, mantener el valor humano y colectivo. Desarrollo, encaminar los esfuerzos para ser mejores y eficientes. Servicio, es una herramienta vital para con nuestros clientes.

Cultura de aprendizaje, enriquecer y capacitar día a día, con conocimientos a todo el personal. Reconocimiento, motivar y reconocer al personal en su trabajo es parte de la organización y una actividad muy importante para continuar creciendo adentro de la empresa.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Equipo eléctrico utilizado en subestaciones eléctricas**

Especificar el equipo que se requerirá es de suma importancia, ya que permite ahorrar tiempo y dinero. A continuación se detalla el equipo eléctrico requerido dentro de una subestación eléctrica.

### **2.2. Banco de tierra**

Consiste en un transformador, cuya función principal es conectar a tierra el neutro de un sistema y proporcionar un circuito de retorno a la corriente de cortocircuito de fase a tierra.

### **2.3. Transformadores de potencial (TP's)**

Son aparatos en los cuales la tensión secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la tensión primaria, aunque ligeramente desfasada. Desarrollan dos funciones: transformar la tensión y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.

El primario se conecta en paralelo con el circuito por controlar y el secundario se conecta en paralelo con las bobinas de tensión de los diferentes aparatos de medición y de protección que se requieren energizar.

## **2.4. Transformador de corriente (TC's)**

Son aparatos en los cuales la corriente secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la corriente primaria, aunque ligeramente desfasada. Desarrollan dos tipos de función: transformar la corriente y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.

El primario del transformador se conecta en serie con el circuito por controlar y el secundario se conecta en serie con las bobinas de corriente de los aparatos de medición y de protección que requieran ser energizados. Un transformador de corriente puede tener uno o varios secundarios, embobinados a su vez sobre uno o varios circuitos magnéticos.

## **2.5. Apartarrayos**

Son unos dispositivos eléctricos formados por una serie de elementos resistivos no lineales y explosores que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, operación de interruptores o desbalance de los sistemas.

- Funciones de los apartarrayos

Descargar las sobretensiones cuando su magnitud llega al valor de la tensión disruptiva de diseño. Conducir a tierra las corrientes de descarga producidas por las sobretensiones. Debe desaparecer la corriente de descarga al desaparecer las sobretensiones. No deben operar con sobretensiones temporales, de baja frecuencia. La tensión residual debe ser menor que la tensión que resisten los aparatos que protegen.

## **2.6. Interruptores**

El interruptor es un dispositivo destinado al cierre y apertura de la continuidad de un circuito eléctrico bajo carga, en condiciones normales, así como, bajo condiciones de cortocircuito.

Sirve para insertar o retirar de cualquier circuito energizado máquinas, aparatos, líneas aéreas o cables.

El interruptor es, junto con el transformador, el dispositivo más importante de una subestación. Su comportamiento determina el nivel de confiabilidad que se puede tener en un sistema eléctrico de potencia.

El interruptor debe ser capaz de interrumpir corrientes eléctricas de intensidades y factores de potencia diferentes, pasando desde las corrientes capacitivas de varios cientos de amperes a las inductivas de varias decenas de kiloamperios (cortocircuito).

- Interruptores de potencia o disyuntores

Son dispositivos que se utilizan para interrumpir el flujo de electricidad en circuitos de potencia.

La función de los relevadores es detectar e iniciar la desconexión del área con problemas, y la función de los interruptores de potencia o disyuntores es interrumpir el flujo de electricidad en las áreas con dificultades.

- Interruptor de recierre o *recloser*

El interruptor de recierre o *recloser* es un interruptor para media tensión (MT), con una potencia de corto circuito moderada, previsto para despejar fallas temporales o interrumpirlas en caso de ser fallas permanentes. Puede realizar múltiples recierres y trabajar coordinadamente con fusibles y seccionadores.

El *Recloser* es una herramienta moderna, técnicamente confiable y económica para electrificación en media tensión. El *Recloser* agrupa en un solo bloque, todo el equipamiento que habitualmente se necesita en una subestación, ocupando un espacio mínimo y a un costo reducido.

## **2.7. Fusibles**

Son dispositivos de protección eléctrica de una red que hacen las veces de un interruptor, siendo más baratos que éstos. Se emplean en aquellas partes de una instalación eléctrica en que los relevadores y los interruptores no se justifican económicamente.

Su función es la de interrumpir circuitos cuando se produce en ellos una sobretensión, y soportar la tensión transitoria de recuperación que se produce posteriormente.

Un juego de fusibles de alta tensión, en su parte fundamental, está formado por tres polos. Cada uno de ellos, a su vez, está formado por una base metálica semejante a las utilizadas en las cuchillas, dos columnas de aisladores que pueden ser de porcelana o de resina sintética y cuya altura fija el nivel básico de impulso a que trabaja el sistema.

Sobre los aisladores se localizan dos mordazas, dentro de las cuales entra a presión el cartucho de fusibles. Dentro del cartucho se encuentra el elemento fusible, que normalmente está formado por un alambre o tiras metálicas con una sección reducida, que está calibrada de acuerdo con su capacidad de corriente.

## **2.8. Reguladores de voltaje**

Los mecanismos reguladores de tensión se usan dentro de los transformadores trifásicos con capacidades y tensiones superiores a 50 megavoltios-amperio y 85 kilovoltios, respectivamente. Dichos transformadores, salvo excepciones, van provistos por el fabricante respectivo, de un cambiador de derivaciones bajo carga, que mantiene la regulación de tensión en forma automática.

Para capacidades y tensiones menores, se acostumbra usar reguladores de tensión en forma separada del banco de transformadores, independientemente de que éste sea trifásico o esté formado por unidades monofásicas.

- Se puede encontrar tres tipos de regulación de tensión, los cuales son

En los alimentadores de distribución que parten de un transformador con cambiador de derivaciones sin carga, se acostumbra instalar un regulador por alimentador, que ajuste en forma automática a una tolerancia del 10 por ciento del valor nominal de la tensión nominal.

En un sistema con arreglo de doble barra, que utiliza un banco de 3 unidades monofásicas, se acostumbra instalar el regulador entre el banco de transformadores y las barras de 23 kilovoltios. El regulador será trifásico, con capacidad de regulación que equivale a una tolerancia del 10 por ciento de la capacidad del banco.

En un sistema con arreglo en anillo en el lado de 23 kilovoltios, y con bancos trifásicos de 60 mega voltios amperios y 230 kilovoltios, cada transformador está provisto de un cambiador automático de derivaciones, por cuyo medio se regula la tensión de salida del banco.

## **2.9. Baterías**

Se denomina batería a un conjunto de celdas conectadas en serie. La tensión nominal de la batería viene dada por la suma de las tensiones de cada una de las celdas. Las baterías, según el tipo del electrolítico, pueden ser ácidas o alcalinas.

## **2.10. Cargadores de batería**

Son los dispositivos eléctricos o electrónicos que se utilizan para cargar y mantener en flotación, con carga permanente, la batería de que se trate.

La capacidad de los cargadores va a depender de la eficiencia de la batería, o sea, del tipo de batería que se adquiera. Para una misma demanda impuesta a la batería, se requiere un cargador de mayor capacidad, si es alcalina, por tener ésta una eficiencia menor.



Los cargadores de batería de tipo electrónico tienen la ventaja sobre sus antecesores (el equipo motor-generador) de ser más baratos y tener la tensión de salida menos regulada, lo que aumenta la vida útil de la batería, tienen menor peso y su mantenimiento es muy reducido. La regulación de la tensión de salida (cd) debe ser de  $\pm 1$  por ciento del valor ajustado para la tensión de carga flotante, con una variación de carga entre 0 y 1 por ciento.

### **2.11. Hilo de guarda**

La función del hilo de guarda en las subestaciones es proporcionar un blindaje o protección contra descargas directas, es decir, un blindaje bien diseñado evita las descargas a los conductores de fase y está determinado por la posición relativa de los hilos de guarda respecto a los conductores de fase.

Los hilos de guarda también son conocidos con el nombre de cables de tierra, generalmente son de acero y se instalan encima de los conectores y conductores de fase, en un número y disposición tal que, el ángulo formado por la vertical con la recta que une al hilo de guarda con el conductor de una fase exterior sea inferior a 45 grados y, preferentemente, 30 grados.

Los hilos de guarda se instalan directamente sobre la estructura, y por lo general son de acero galvanizado, con una sección no inferior a 50 milímetros cuadrados, siendo en Guatemala por lo general de un diámetro de 3/8 pulgadas; usándose conectores para unirlos a la estructura y se conectan a tierra por lo menos en dos puntos con cable de acero galvanizado, también con una sección no inferior a 50 milímetros cuadrados.

## **2.12. Aisladores**

Los aisladores para los equipos o aparatos tipo exterior o intemperie, se usan en primer término para soportar buses rígidos y otros equipos eléctricos que operan sobre el valor del potencial de tierra. Los aisladores para los equipos y aparatos se fabrican normalmente en porcelana y eventualmente en vidrio.

## **2.13. Cuchillas o seccionadores**

El seccionador es un aparato mecánico de conexión que asegura, en posición abierta, una distancia de seccionamiento que satisface condiciones especificadas. Un seccionador es capaz de abrir y de cerrar un circuito cuando se establece o interrumpe una corriente de valor despreciable, o bien no se produce ningún cambio importante de la tensión entre los bornes de cada uno de los polos del seccionador.

Además, estos dispositivos sirven para conectar y desconectar diversas partes de una instalación eléctrica, para efectuar maniobras de operación o bien para darles mantenimiento.

Las cuchillas pueden abrir circuitos bajo la tensión nominal pero nunca cuando esté fluyendo corriente a través de ellas. Antes de abrir un juego de cuchillas siempre deberá abrirse primero el interruptor correspondiente.

Es también capaz de conducir corrientes en las condiciones normales del circuito, y de soportar corrientes por un tiempo especificado en condiciones anormales como las de cortocircuito.

La diferencia entre un juego de cuchillas y un interruptor, considerando que los dos abren o cierran circuitos, es que las cuchillas no pueden abrir un circuito con corriente y el interruptor si puede abrir cualquier tipo de corriente, desde el valor nominal hasta el valor de cortocircuito. Hay algunos fabricantes de cuchillas que añaden a la cuchilla una pequeña cámara de SF6 que le permite abrir solamente los valores nominales de la corriente del circuito.

Las cuchillas están formadas por una base metálica de lámina galvanizada con un conector para puesta a tierra; dos o tres columnas de aisladores que fijan el Nivel Básico de Impulso (NBI), y encima de estos, la cuchilla.

La cuchilla está formada por una navaja o parte móvil y la parte fija, que es una mordaza que recibe y presiona la parte móvil. Debe notarse que hay dos aisladores por polo, uno de soporte, y otro que transmite el movimiento al brazo.

#### **2.14. Relevadores de protección**

Son dispositivos, cuya principal función es detectar equipos o líneas eléctricas que se encuentran en condiciones anormales o peligrosas para iniciar las acciones apropiadas en los circuitos de control y aislar las áreas con problemas.

#### **2.15. Descargadores**

El descargador es un aparato destinado a proteger el material eléctrico contra sobretensiones transitorias elevadas y a limitar la duración y frecuentemente la amplitud de la corriente subsiguiente. Están formados esencialmente por un espinterómetro y un elemento limitador de corriente.

## **2.16. Nivel de aislamiento en subestaciones**

En toda subestación es de suma importancia ver el nivel de aislamiento, ya que el equipo eléctrico en la subestación se fija en base a este valor de aislamiento.

### **2.16.1. Nivel de aislamiento**

Fija la resistencia de aislamiento que debe tener un equipo eléctrico, para soportar sobretensiones. Existen dos tipos de sobretensiones la externa y la interna:

Sobretensiones externas: es debida a descargas atmosféricas (rayos).

Sobretensiones Internas: son debidas a maniobras de interruptores.

### **2.16.2. Coordinación de aislamiento**

Es el ordenamiento de los niveles de aislamiento de los diferentes equipos, de tal manera que al presentarse una onda de sobretensión, ésta se descargue a través del elemento adecuado, sin producir arcos ni daños a los equipos adyacentes.

### **2.16.3. Tensión nominal**

Son valores normalizados de las tensiones nominales entre fases. Todo equipo dentro de la subestación debe trabajar en función de la tensión nominal y esta debe ser igual para todos.

#### **2.16.4. Nivel Básico de Impulso (NBI)**

El nivel de aislamiento de una subestación está en función de la tensión nominal de operación de las normas correspondientes, y de los niveles de sobretensión existentes en el sistema. Se conoce con el nombre de nivel básico de Impulso (NBI) y sus unidades son en kilovoltios.

El nivel de aislamiento adecuado determina las características de aislamiento de los aparatos a distancias entre partes conductoras de fases diferentes y entre fase y tierra. Los factores de corrección por altitud se aplican a todos los aislamientos externos, o sea en contacto con el aire, de los equipos de alta tensión. Para aisladores eléctricos situados en altitudes superiores a la normalizada de 1 000 metros, el NBI de los aislamientos externos se reduce progresivamente a partir de los 1 000 metros. Todos los aparatos eléctricos que tengan aislamientos internos, sumergidos en acetite, gas. Y que por no estar en contacto en la atmósfera, su NBI es prácticamente independiente de las condiciones atmosféricas y de la altura sobre el nivel del mar.

#### **2.16.5. Determinación de distancias dieléctricas en subestaciones**

En una subestación, para tener una coordinación de aislamiento adecuada, se deben fijar las distancias a través del aire, entre partes vivas de fases diferentes, y entre la parte viva de fase y tierra.

##### **2.16.5.1. Tensión crítica de flameo (TCF)**

Es la tensión obtenida en forma experimental, que presenta una probabilidad de flameo del 50 por ciento.

La relación entre el TCF y el NBI para una probabilidad de falla del 10 por ciento, está dada de forma experimental por

$$\text{NBI} = 0,961 \times \text{TCF} \quad (1)$$

En la norma se calcula el valor de la tensión crítica de flameo a partir del nivel básico de impulso a nivel del mar, o sea,

$$\text{TCF}_{\text{normal}} = \text{NBI} / 0,961 \quad (2)$$

Para diseño se utiliza TCF normal corregida por altitud y humedad o sea,  
 $\text{TCF}_{\text{diseño}} = \text{TCF}_{\text{normal}} \times K_h / \delta$  (3)

$\text{TCF}_{\text{normal}}$  = valor de la tensión crítica de flameo en condiciones normales de temperatura, presión y humedad o sea cuando  $\delta = 1$  y  $K_h = 1$

$\delta$  = el factor de densidad del aire de acuerdo a la altitud y temperatura

$K_h$  = al factor de humedad atmosférica

La relación entre TCF diseño y la distancia dieléctrica de electrodos es

$$\text{TCF}_{\text{diseño}} = K \times d \quad (4)$$

$K$  = al gradiente de tensión, en kV / m

$d$  = distancia de fase a tierra, en metros.

Despejando  $d$  y utilizando el valor promedio de  $K$  la ecuación queda de la siguiente forma:

$$d_{ft} = \text{TCF}_{\text{diseño}} / 550 \quad (5)$$

$d_{ft}$  distancia de fase a tierra, en metros.

Sustituyendo el valor de la expresión (3), la distancia en metros queda:

$$d_{ft} = \text{TCF}_{\text{normal}} \times K_h / 550 \times \delta \quad (6)$$

Las distancias dieléctricas se corrigen a partir de los 1 000 msnm de acuerdo con la expresión (7)

$$d_h = d_{1000} + \{ 0,0125 (d_h - 1000)/100 \times d_{1000} \} \quad (7)$$

Donde:  $d_h$  = Distancia dieléctrica a la altura de  $h$  msnm.

$d_{1000}$  = distancia dieléctrica de la altura de 1 000 msnm.

#### **2.16.5.2. Distancias dieléctricas entre fases**

La distancia mínima entre fases puede determinarse teniendo en cuenta que la tensión máxima que puede aparecer entre fases, es igual al nivel de aislamiento al impulso NBI más el valor de cresta de la onda de tensión a tierra, de frecuencia fundamental, correspondiente a las condiciones fundamentales de operación. Esto conduce a elegir una distancia mínima entre fases, 15 por ciento mayor que la distancia mínima a tierra.

$$d_{ff} = 1,15 \% \times d_{ft} \quad (8)$$

$d_{ff}$  distancia de fase a fase, en metros.

#### **2.16.5.3. Alturas de equipos sobre el nivel del suelo ( $h_s$ )**

Esta altura se considera también como el primer nivel de barras ( $h_s$ ). La altura del segundo nivel de barras se indica como ( $h_b$ ).

La altura mínima  $h_s$  de las partes vivas sobre el nivel del suelo, en ningún caso debe ser inferior a 3 metros, si no se encuentran aislados por barras de protección.

La altura mínima de la base de los aisladores para soportar partes vivas no debe ser menor de 2,25 metros, que es la altura de una persona promedio, con el brazo levantado. En general, para cualquier equipo, la altura mínima de sus partes vivas se calcula de acuerdo con la siguiente expresión, con un máximo de hasta 1 000 sobre el nivel del mar.

$$h_s = 2,30 + 0,0105 \text{ kV}_{\text{max.}} \quad (9)$$

Para alturas mayores de 1 000 metros sobre el nivel del mar se usar

$$h_{sh} = h_{s1\ 000} + [ 0,0125 (h - 1\ 000 / 100) \times h_{s1\ 000} ] \quad (10)$$

#### **2.16.5.4. Alturas de barras colectoras sobre el nivel del suelo (hb)**

La presión que proporciona la altura de la barras colectoras hb considerando la sensación de campo eléctrico es

$$h_b = 5,0 + 0,0125 \text{ kV} \quad (11)$$

kV tensión máxima de diseño

para alturas mayores de 1 000 msnm. Se usa la siguiente:

$$h_{bh} = h_{s1\ 000} + \{ 0.0125 (h_{b1\ 502} - 1\ 000) / 100 \times h_{b1\ 000} \} \quad (12)$$

#### **2.16.5.5. Alturas de remate de las líneas de transmisión en la subestación**

Los conductores de una línea de transmisión que llegan o salen de una subestación no deben rematar a una altura inferior de 6 metros dicha altura se indica así:

$$Hl = 5,0 + 0,006 \times \text{kV} \quad (13)$$



#### **2.16.5.6. Distancias de seguridad**

Son los espacios libres que permiten circular y efectuar maniobras al personal dentro de la subestación sin que exista riesgo para sus vidas.

Las distancias de seguridad a través del aire están formadas por la suma de dos términos, el primero es igual a la distancia mínima de la fase a tierra, correspondiente al nivel de aislamiento al impulso de la zona. Y el segundo término se suma a la anterior y depende de la talla medias de los operadores.

$$d_h = d_{ft} + 0,9 \quad (14)$$

$$d_v = d_{ft} + 2,25 \quad (15)$$

$d_h$ : distancia horizontal, en metros.

$d_v$ : distancia vertical, en metros.

$d_{ft}$  : Distancia mínima de fase a tierra, en metros.

#### **2.16.5.7. Distancias de zonas de circulación de personal**

En zonas donde no existen cercas de protección, la altura mínima desde el suelo de las partes vivas, debe permitir la circulación del personal. Dicha altura mínima es la suma de la distancia base de la fase a tierra aumentada en 2,25 metros. Que es la altura de un operador de talla media más el brazo levantado.

- Distancia horizontal de mantenimiento

$$D_{h \text{ mant.}} = d_{ft} + 1,75 \quad (16)$$

- Distancia vertical de mantenimiento

$$D_{v \text{ mant.}} = d_{ft} + 1,25 \quad (17)$$

### 2.16.5.8. Distancias de zona de trabajo

En cualquier sección de alta tensión después de desconectar los interruptores y cuchillas de la sección a trabajar y sin desconectar las secciones contiguas, el personal de mantenimiento debe trabajar con seguridad plena.

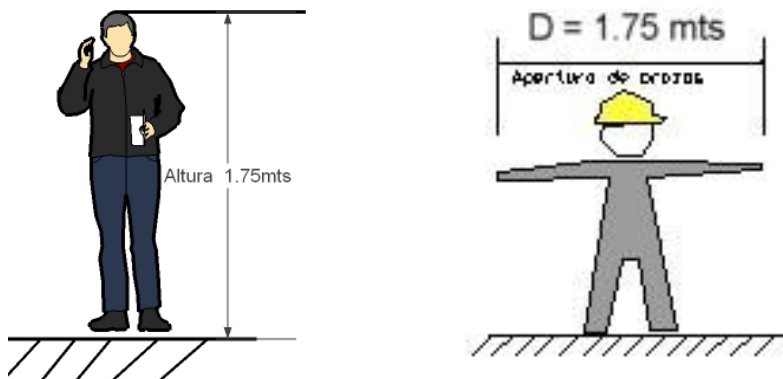
Es la suma de la distancia base más una longitud. En ningún caso la distancia total debe ser inferior a 3 metros.

Estas distancias deben de proteger al personal que circula dentro de la subestación por manteniendo u operación. Teniendo partes vivas fuera del alcance del personal de la siguiente manera.

Distancia apartarrayos

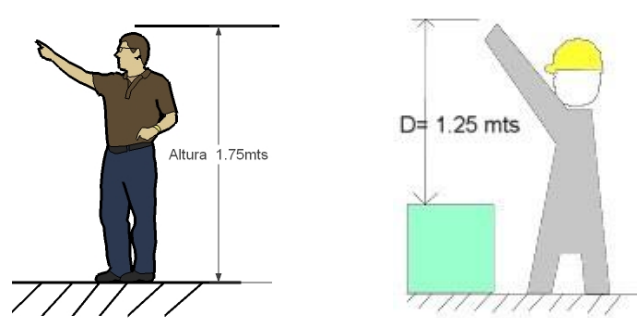
$$D = 2 \times d_{ft} \quad (18)$$

Figura 1. **Altura y apertura de brazos de 1,75 metros**



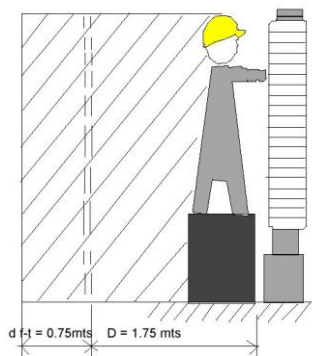
Fuente: Martín, José Raúl. Diseño de subestaciones eléctricas. p.281.

Figura 2. **Altura de figura izquierda 1,75 metros y derecha 1,25 metros**



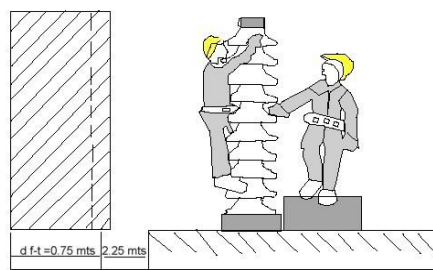
Fuente: Martín, José Raúl. Diseño de subestaciones eléctricas. p.281.

Figura 3. **Aislamiento con barra y distancia de fase a tierra (d f-t)**



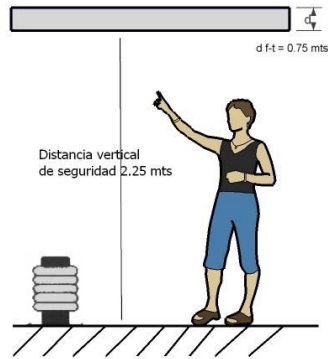
Fuente: Martín, José Raúl. Diseño de subestaciones eléctricas. p.282.

Figura 4. **Aislamiento horizontal izquierda igual a distancia de fase a tierra (df-t) y derecha 2,25 metros**



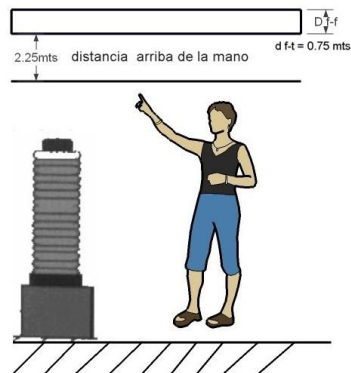
Fuente: Martín, José Raúl. Diseño de subestaciones eléctricas. p.284

Figura 5. **Distancia vertical de seguridad 2,25 metros y arriba igual a distancia de fase a tierra (df-t)**



Fuente: Martín, José Raúl. Diseño de subestaciones eléctricas. p.282.

Figura 6. **Distancia de zona de trabajo arriba de la mano 2,25 metros y distancia de fase a tierra a la parte viva igual a distancia de fase a tierra (df-t)**



Fuente: Martín, José Raúl. Diseño de subestaciones eléctricas. p.282.

## **2.17. Redes o mallas de tierra**

Cuando se producen fallas en los sistemas de potencia, circulan corrientes del orden de kiloamperios, que retornan por tierra a las subestaciones, exigiendo entonces la existencia de una muy buena conexión a tierra en la subestación.

Por otra parte, en el momento de circular las corrientes de cortocircuito, no deben producirse voltajes que puedan poner en peligro a las personas que estén dentro de la subestación.

### **2.17.1. Elementos que componen la red de tierras**

Los elementos en la red de tierras, es de suma importancia saber su uso, tomando en cuenta que valores y tamaños deben de poseer para la correcta protección de la subestación y el personal que le da mantenimiento.

Conductor de la malla

- Electroodos
- Bayonetas
- Conexiones, estas pueden ser:
  - Exotérmicas, son las uniones hechas con soldadura exotérmicas capaz de disipar 40 kiloamperios
  - Mecánicas, son las uniones atornilladas con pernos partidos, las cuales a través del tiempo se corroen.
  - Compresión, son uniones con terminal, de entallar a presión.

### 2.17.2. Resistencia de la conexión a tierra

La resistencia de la puesta a tierra en la subestación debe ser lo suficientemente baja para que circulen las corrientes originadas por fallas que ocurran en puntos remotos, asegurando así la operación de los dispositivos de protección. En su construcción debe tenerse en cuenta que pueda conducir la máxima corriente de cortocircuito, sin que se produzca calentamiento ni daño.

La conexión a tierra debe también evitar que circulen corrientes altas por estructuras y carcasas, las que normalmente están aterrizadas por seguridad. Debe distinguir entre la resistencia "local" de la tierra y la resistencia "remota", que es con referencia a un punto de tierra distante. Estos dos parámetros están muy relacionados.

Para determinar el valor de la resistencia de tierra, es necesario conocer la resistividad ( $\rho$ ) del terreno en donde está localizada la subestación. El valor de  $\rho$  puede ser medido, varía ampliamente con parámetros como la homogeneidad del terreno, temperatura, humedad y contenido de sal.

La tabla siguiente indica los valores de resistividad de distintos tipos de terreno, los cuales pueden usarse cuando no se tiene un dato exacto.

Tabla I. Tipos de suelos y su resistividad

TIPO DE TIERRA	RESISTIVIDAD ( $\Omega$ - m)
Suelo pantanoso	10 – 30
Suelo orgánico húmedo	10 – 50
Suelo húmedo	$10^2$ - $10^3$
Concreto de hormigón	$10^3$
Suelo seco	$10^3$ - $4 \times 10^3$

Fuente: Martín, José Raúl. Diseño de subestaciones eléctricas. p.201.

La resistencia local de la puesta a tierra (RL) puede encontrarse utilizando un megger de tierra y siguiendo alguno de los métodos recomendados, por ejemplo, el de Klenmer o de los cuatro electrodos. En esta prueba se clavan en línea los 4 electrodos a igual distancia, dos dentro del terreno donde se está midiendo la resistencia, los otros dos electrodos se colocan fuera, por ellos se alimenta la corriente y se mide la caída de tensión en los electrodos internos.

El valor de RL está dado por:

$$RL = \rho / 2\pi a + \rho / L \quad (19)$$

Donde:

a: distancia entre electrodos en m

$\rho$ : resistividad del terreno en  $\Omega \cdot m$

L: longitud total del conductor de cobre en m.

### **2.17.3. Resistencia de puesta a tierra con la malla**

Una vez determinada la resistividad del terreno ( $\rho$ ), la resistencia del mismo R, depende del área de la red de tierra y de la longitud de la malla (L), dada por la suma de todas las ramas de la red.

Si la resistividad del terreno es prácticamente uniforme y la profundidad de la malla es menor de 30 centímetros, se usa la siguiente expresión:

$$R = \rho / 4r + \rho / L \quad (20)$$

#### 2.17.4. Diseño de la malla a tierra

El propósito principal en el diseño de una malla de tierra es la seguridad del personal que se encuentre dentro de la subestación cuando se produzca la ocurrencia de una falla a tierra en el sistema.

En consecuencia, las mallas son diseñadas para limitar los voltajes a valores que no ofrezcan peligro para el cuerpo humano y, además, disminuir los riesgos de deterioro en los equipos.

La corriente máxima que tolera el cuerpo humano, sin que se produzcan daños irreparables, es definida por (IEEE Std 399- 1 980):

$$I_b = 0,116/\sqrt{t} \quad (21)$$

Donde:

$I_b$  = Corriente, en amperios

$t$  = Duración de la corriente, en segundos

Esta corriente determina los potenciales tolerables por el cuerpo

- Voltajes de contacto y de paso

Son las diferencias de potencial máximo que pueden presentarse entre una mano y un pie o entre los dos pies, bajo cualquier condición dentro de la subestación. Las figuras 1 y 2 ilustran las dos condiciones mencionadas.



- Para su cálculo se hacen las siguientes recomendaciones

Las resistencias de contacto de la mano y del pie son despreciables, mientras que la del suelo inmediatamente debajo del área de contacto del pie es considerada significativa. Se toma cada pie como un electrodo en forma de plato con una resistencia en ohmios de  $3 \rho_s$ .

Para el cuerpo humano se estima un valor de resistencia total de 2 300 ohmios entre manos y 1 100 ohmios de mano a pie, en ambos casos se usa 1 000 ohmios como un valor razonable y que brinda seguridad.

De acuerdo con esto la resistencia total en la condición de paso es:

$$R = 1\,000 + 6 \rho_s \quad (22)$$

$$\text{Para la condición de contacto es: } R = 1\,000 + 1,5 \rho_s \quad (23)$$

Donde  $\rho_s =$  es la resistividad superficial del suelo en ohmios–metro, si la subestación se cubre con roca triturada u otro material de alta resistividad, deberá utilizarse el valor  $\rho_s$  del material en las ecuaciones anteriores. Como voltaje es igual a corriente por resistencia, de las ecuaciones anteriores, se encuentra que:

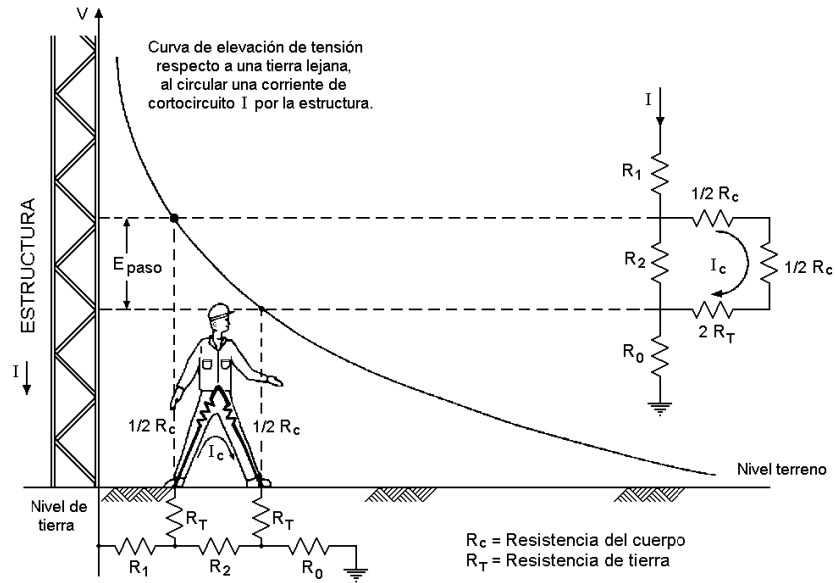
El voltaje de paso es:

$$E_p = (116 + 0,696 \rho_s) / \sqrt{t} \quad (24)$$

El voltaje de contacto es:

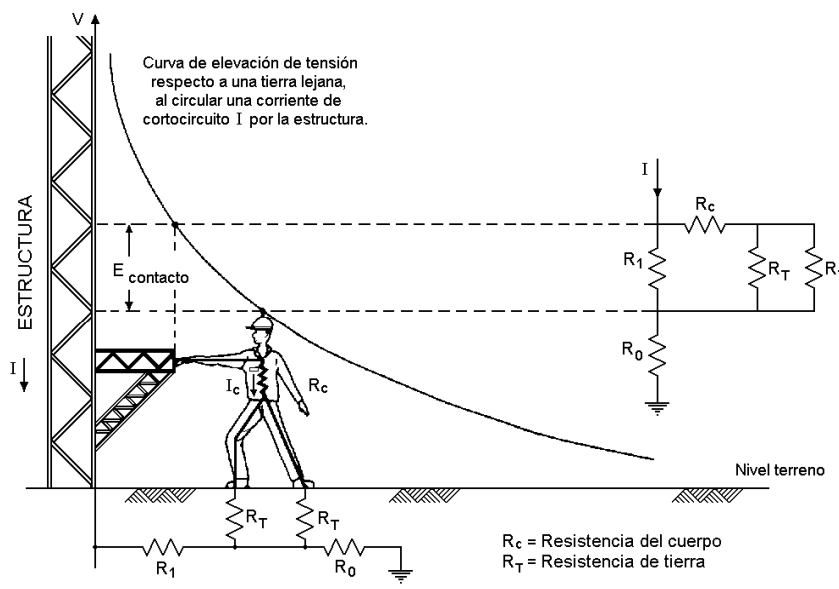
$$E_t = (116 + 0,174 \rho_s) / \sqrt{t} \quad (25)$$

Figura 7. Tensión de paso cerca de una estructura conectada a tierra



Fuente: Martín, José Raúl. Diseño de subestaciones eléctricas. p.192.

Figura 8. Tensión de contacto de una estructura conectada a tierra



Fuente: Martín, José Raúl. Diseño de subestaciones eléctricas. p.192.

### 2.17.5. Conductor de la malla a tierra

El conductor de la malla de tierra debe conducir la corriente de falla durante un período de tiempo determinado sin fundirse ni averiarse. Debe también ser mecánicamente resistente y, además, tener buena conductividad para evitar las diferencias de potencial peligrosas. El área mínima del conductor está dada por la siguiente expresión (IEEE Std 80-1976):

$$A = I_{cc} \left\{ 33s / \log \left( (T_m - T_a) / (243 + T_a) \right) + 1 \right\} \quad (26)$$

Donde:

$I_{cc}$  = Corriente de cortocircuito en amperios A

A = Sección transversal del conductor de cobre, en circular mil

S = Tiempo durante el cual circula la corriente, en segundos

$T_m$  = Temperatura máxima permisible en las uniones de la malla, en °C

$T_a$  = Temperatura promedio del suelo, en °Centigrados.

Teniendo en cuenta la rigidez mecánica que debe tener el conductor, la IEEE recomienda usar conductores de cobre de tamaños mínimos 1/0 para uniones soldadas y 2/0 para pernadas.

### 2.17.6. Potencial de contacto y de paso de la malla

La malla de tierra se construye con conductores a lo largo y ancho del terreno, interconectados en cada cruce y enterrada una cierta profundidad. La existencia de esta red modifica el valor de potenciales de toque y de paso, los cuales están ahora dados por las siguientes expresiones (IEEE Std 80-1976):

$$E_{t \text{ Malla}} = (K_i * K_m * \rho_s * I_{red}) / L \quad (27)$$

$$E_{p \text{ Malla}} = (K_s * K_m * \rho_s * I_{red}) / L \quad (28)$$

Donde:

$\rho_s$  = Resistividad del suelo, en ohmios-metro

$I_{red}$  = Máxima corriente de falla, en amperios

$L$  = Longitud total de la malla, en metros

$K_m$  = Coeficiente de malla

$K_s$  = Coeficiente de paso

$K_i$  = Factor de irregularidad

El coeficiente  $K_m$  y  $K_s$  se calcula con la ecuación:

$$K_m = (1/2\pi) \times \ln(D^2/16hd) + (1/\pi) \times \ln \left\{ (3/4)^{(5/6)} \dots ((2n-3)/(2n-2)) \right\} \quad (29)$$

$$K_s = (1/\pi) \times \left\{ (1/2h) + (1/(D+h)) + (1/2D) + (1/3D) + \dots + (1/(N-1)D) \right\} \quad (30)$$

$$n = (\text{ancho de la subestación} / D) + 1 \quad (31)$$

$K_i$  varía de 1,2 a 2 dependiendo de la geometría de la malla. En general

$$K_i = 0,65 + 0,172 n \quad (32)$$

$$K_i = 2 \quad \text{para } n > 8 \quad \text{Para } n < 8 = 7$$

### 2.17.7. Longitud del conductor de la malla a tierra

Ya que por regla general los voltajes de paso que se presentan en una subestación con la malla son menores que los voltajes de toque, se toma el voltaje de contacto como parámetro para determinar la longitud mínima requerida de conductor.

La longitud se obtiene igualando las ecuaciones (7) y (9) siguientes:

$$E_t = (116 + 0,174 \rho_s) \sqrt{t}$$

$$E_{t \text{ Malla}} = (K_i * K_m * \rho * I_{\text{diseño}}) / L \quad (33)$$

$$L = (K_i * K_m * \rho * I_{\text{diseño}} \sqrt{t}) / (116 + 0,174 \rho_s) \quad (34)$$

- Potencial de paso

$$E_{p \text{ paso}} = (K_s * K_i * \rho * I_{\text{diseño}}) / L \quad (35)$$

Al calcular la longitud del conductor de la malla, el principal propósito es el de asegurar que los potenciales de contacto y de paso estén por debajo de los límites establecidos para la seguridad.

### 2.17.8. Consideraciones de diseño de la malla a tierra

De los resultados, se compara la elevación máxima del potencial de la red ( $E_{\text{MALLA}}$ ) contra el potencial mínimo tolerado por el cuerpo humano.

$$(E_{\text{CONTACTO-TIERRA}}, \text{ debe ser: } E_{\text{MALLA}} < E_{\text{CONTACTO-TIERRA}} \quad (36)$$

- Para que la malla sea segura debe producirse que

$$L_{\text{Seguridad}} < L_{\text{prefijada}} \quad (37)$$

- Este punto también debe probar que el potencial de paso ( $E_{\text{PASO}}$ ) en la periferia de la malla contra el potencial mínimo tolerado por el cuerpo humano ( $E_{\text{PASO-TIERRA}}$ ), debe ser

$$E_{\text{PASO}} < E_{\text{PASO-TIERRA}} \quad (38)$$

$$I_p = \{(1\ 000 + 1,5 \rho) / (K_i * K_m * \rho)\} * \{9/1\ 000\} * L \quad (39)$$

Si se cumplen estas consideraciones importantes al diseñar una red o malla de tierras para protección contra sobretensión en una subestación, se considera que el diseño es seguro, de lo contrario se debe rediseñar la red, ya sea: aumentando el área de la malla, incrementando la longitud del conductor o incrementado el número de electrodos para la red de tierras.

### 2.17.9. Método de Werner

En 1915, el Dr. Frank Werner del U.S. Bureau of Standards desarrolló la teoría de este método de prueba, y la ecuación que lleva su nombre.

Para las redes de tierra se consideran tres sistemas:

- Radial
- Anillo
- Malla

Sistema radial: este sistema es el más económico pero el menos seguro ya que al producirse una falla en cualquier parte de la instalación eléctrica del edificio o la subestación se obtiene un alto gradiente de potencial. Se utiliza para corrientes de tierra bajas.

Sistema de anillo: es un sistema menos económico que el anterior, los potenciales peligrosos disminuyen al dispararse la corriente de falla por varios caminos, lo que origina un gradiente de potencial menor. Se utiliza para corrientes de cortocircuito intermedias.

Sistema de malla: las mallas de tierras se usan especialmente donde el suelo es poco profundo, se entierra cable a profundidad mínima de 30 centímetros, espaciados tres a cuatro metros, interconectados todos los cruces sólidamente, generalmente se usa cable calibre No. 2.

Para el diseño se puede utilizar el método, basado en la fórmula de Laurent Niemann, según normas IEEE Std 801976.

$$R = (\rho/4r) + (\rho/L) \quad (40)$$

Donde:

R: resistencia a tierra, en ohmios

$\rho$ : resistividad específica, en ohm metro

r: radio, en m de un círculo

L: longitud del cable enterrado, en metros

$\rho/L$  tiene un valor relativamente pequeño, por lo que se puede hacer en primer lugar un tanteo sin tomarlo en cuenta, pero utilizando un radio real un 10 por ciento mayor que el teórico. Con el área determinada en forma adecuada, según los requerimientos del caso, se interconectan los lados con cables espaciados aproximadamente tres metros.

Se calcula la longitud total de los cables y se verifica la ecuación (40). Si el valor de la resistencia es mayor que el máximo aceptable, se repite el proceso con un radio mayor, y por lo tanto con un área mayor.

La resistencia del terreno es:

$$R = \rho / (4r) \quad (41)$$

$\rho$ : resistividad del terreno, en ohmios metros

R: resistencia de la malla, en ohmios

r: radio, en metros.

$$\text{Radio aumentado un 10 por ciento es: } r' = r + 10 \text{ por ciento } r \quad (42)$$

$$\text{El área de la malla es: } A = \pi * r' \quad (43)$$

$$\text{Longitud de la malla } L = l * K + (a * N) \quad (44)$$

L: longitud de la malla, en metros. l: largo, en metros. K: número de varillas a lo ancho. A: ancho, en metros. N: número de varillas a lo largo.

## **2.18. Diferencia entre la subestación Oakland Mall y la convencional a la intemperie**

La subestación del centro comercial Oakland Mall se conecta a la línea de distribución de 69 kilovoltios a través de cables de potencia aislados de manera subterránea.

La subestación Oakland Mall alimenta la carga a la que está colocada en 13,2 kilovoltios con cables de potencia con aislamiento para 15 kilovoltios de manera subterránea.

La subestación de Oakland Mall no utiliza pórticos ya que se conecta a la línea de 69 kilovoltios y también a la carga de 13,2 kilovoltios en forma subterránea.

El acceso está restringido, sólo a personal autorizado, puede ingresar ya que la subestación está completamente cerrada. Todo el perímetro con pared de block y techada, con una sola puerta de acceso con llave.

Se reduce el nivel de ruido en la subestación ya que está totalmente encerrada, factor importante, ya que se encuentra en una zona residencial.

Por estar completamente encerrada la contaminación atmosférica es reducida con lo que favorece los programas de mantenimiento.

Se cuenta con mayor seguridad ya que se tiene control de acceso a la misma. La subestación Oakland Mall requiere una mayor ventilación ya que se encuentra completamente encerrada.



### 3. DISEÑO DE SUBESTACIÓN OAKLAND MALL

#### 3.1. Diagrama unifilar de la subestación Oakland Mall

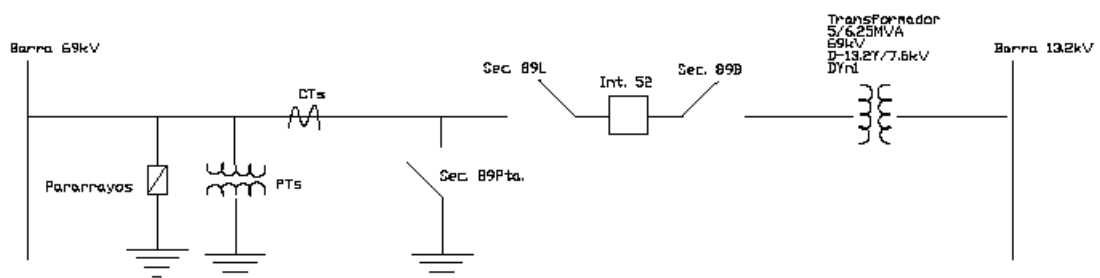
Es un diagrama de un solo juego de barras.

Este sistema es el más sencillo. En condiciones normales de operación todas las líneas y el transformador están conectados al único juego de barras.

En caso de operar la protección diferencial de barras, está desconecta los interruptores, quedando la subestación completamente desenergizada.

El mantenimiento del interruptor se debe hacer dejando fuera de servicio parte la subestación. Es el arreglo que utiliza menor cantidad de equipo y es la más económica.

Figura 9. Diagrama unifilar subestación Oakland Mall



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2007.

### 3.2. Selección del nivel básico de impulso (NBI)

El BIL, por sus siglas en inglés significa *Basic Impulse Level*, quiere decir Nivel Básico de Impulso NBI. Es un valor de referencia para la resistencia del aislamiento al impulso, expresado en términos de valor de cresta de la tensión permisible al impulso de rayo normalizado.

El nivel básico de aislamiento al impulso por rayo, no es más que la potencia eléctrica de aislamiento expresada en términos de valores de cresta de un valor estándar de impulso de rayo, por lo que es importante proteger a la subestación de los impulsos ya que sin el cálculo del NBI de acuerdo al nivel de tensión el equipo queda expuesto a daños.

$$NBI = V_{cf} (1,0 - 1,3\delta) \quad (45)$$

Donde: NBI: es el nivel básico al impulso  
V<sub>cf</sub>: es la tensión crítica de flameo  
δ: es la desviación estándar referida V<sub>cf</sub>

En la tabla siguiente se dan los valores de nivel de aislamiento al impulso, El NBI para una subestación de 69 kilovoltios a 1 000 metros sobre nivel del mar, tabla de la norma de la comisión internacional electrotecnia.

Tabla II. **Valores de nivel de aislamiento al impulso NBI a 69 kilovoltios**

Tensión nominal kV	Tensión máxima kV NBI pleno	Nivel Básico al Impulso (NBI) kV
69	72,5	350

Fuente: Martín, José Raúl. Diseño de subestaciones eléctricas. p.21.

El NBI también depende de la altitud por lo que hay una tabla de factores de corrección del NBI en función de ésta. La tabla siguiente muestra la altitud desde los 1 000 metros sobre el nivel del mar (msnm), los cuales dependen directamente de la ubicación del terreno donde estará la subestación.

Tabla III. **Factores de corrección del NBI según la altitud**

<b>Altitud sobre el nivel del mar (msnm)</b>	<b>Factor de corrección aplicado al NBI</b>
1 000	1
1 200	0,98
1 500	0,95
1 800	0,92
2 100	0,89
2 400	0,86

Fuente: Martín, José Raúl. Diseño de subestaciones eléctricas. p.23.

Tabla IV. **Datos de la altitud en la ciudad de Guatemala**

<b>Localidad</b>	<b>Altitud msnm</b>	<b>Temperatura °C</b>		<b>Presiones Absolutas</b>		<b>Húmeda relativa En %</b>	<b>Velocidad del viento Km/h</b>
		<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>		
Guatemala	1 502	24,5	14	33,4	4,2	78	17,7

Fuente: Martín, José Raúl. Diseño de subestaciones eléctricas. p.23.

### **3.3. Análisis técnico de la subestación Oakland Mall**

Analizar la subestación ayuda a encontrar sus distancias, alturas, y mantenimiento, esto facilitará el costo, el mantenimiento además la seguridad de la misma.

### 3.3.1. Diseño de distancias dieléctricas

Son distancias entre los centros de fases de las subestaciones, son distancias mínimas de no flameo de fase a tierra y las distancias de seguridad para la circulación del personal, vehículos y equipos dentro de la subestación. Ahí se tiene la tensión crítica de flameo (TCF) que es la que da una probabilidad de flameo del 50 por ciento de modo experimental.

Tabla V. Dimensiones y libranzas en subestación de 69 kilovoltios

<b>Dimensiones y Libranzas básicas deben tener las estructuras eléctricas NEMA. Especificaciones de existencia de equipo que influyen en el tamaño de la estructura de la subestación</b>						
Tensión nominal kilo voltios	Tensión máxima kilo voltios NBI pleno	Nivel Básico al Impulso BIL(NBI) kilo voltios	Libranza a tierra partes rígidas D <sub>f-t</sub> en metros	Libranzas entre conductores aéreos y el suelo dentro de la subestación seguridad del personal en metros	Libranza entre conductores y acceso de vehículos dentro de la subestación en metros	Separación mínima entre fases (o partes vivas) D <sub>f-f</sub> en metros
69	72,5	350	Recom. 0,74 min. 0,64	Recom. 3,66 mim. 3,35	recom. 7,01 mim. 7,01	0,79

Fuente: Martín, José Raúl. Diseño de subestaciones eléctricas. p.280.

Para 69 kilovoltios que es la subestación del centro comercial Oakland Mall el NBI es de 350 kilovoltios a 1000 metros sobre el nivel del mar.

$$V_{\text{operación}} = 69 \text{ kV}$$

$$V_{\text{max.}} = 72,5 \text{ kV}$$

$$\text{NBI} = 350 \text{ kV}$$

De la ecuación (2)

$$TCF_{normal} = NBI / 0,961 = 364,20 \text{ kilovoltios}$$

De la ecuación (3)

$$TCF_{diseño} = TCF_{normal} \times K_n / \delta$$

En condiciones normales de temperatura, presión, y humedad, o sea  $\delta = 1$  y  $K_n = 1$

$$TCF_{diseño} = 364,20 \times 1 / 1 = 364,20 \text{ kilovoltios}$$

TCF: Tensión Crítica de Flameo

$K_n$ : Factor de humedad atmosférica

$\delta$ : Factor de densidad del aire de acuerdo a la altitud y temperatura.

$d_{f-t}$  = distancia de fase a tierra

De la ecuación (6)

$$d_{f-t} = TCF_{norma} \times K_h / (550 \times \delta)$$

$$d_{f-t} = 364,2 \times 1 / (550 \times 1) = 0,66 \text{ metros}$$

Según tabla IV. El mínimo es 0,64 metros. Y la recomendada =0,74 metros

$$d_{f-t} = 0,64 \times 1,1 = 0,70 \text{ un aumento del 10 por ciento}$$

$$d_{f-t \text{ a } 1500} = 0,70 + 0,0125 \left( \frac{1500 - 1000}{100} \right) \times 0,70 = 0,743 \text{ metros}$$

$d_{f-t \text{ a } 1500} = 0,75 \text{ metros.}$
--

$d_{f-f}$  = Distancia entre fases o Partes vivas o partes rígidas metal a metal.

De la ecuación (8)

$$d_{f-f} = 1,15 \times d_{f-t}$$

$$d_{f-f} = 0,75 \times 1,15 = 0,86 \text{ metros.}$$

$d_{f-f} = 0,86 \text{ metros}$
---------------------------------

Según tabla V el mínimo es 0,79 metros

$h_s$  = Altura de equipos sobre el nivel del suelo (Primer nivel de barras)

De la ecuación (9)

$$h_{s 1000} = 2,30 + 0,0105 (kV) =$$

$$h_{s 1000} = 2,30 + 0,0105 (72,5) = 3,06 \text{ metros}$$

A la altitud de Guatemala 1 502 metros sobre el nivel del mar

De la ecuación (10)

$$h_{sh} = h_{s 1000} + \{ 0,0125 (h_{s 1502} - 1 000)/100 \times h_{s 1000} \}$$

$$h_{s 1502} = 3,06 + \{ 0,0125 (1 502 - 1 000)/100 \times 3,06 \} = 3,25 \text{ metros}$$

$h_{s 1502} = 3,25 \text{ metros}$
------------------------------------

$h_b$  = Altura Barras colectoras sobre nivel del suelo (Segundo nivel de barras)

De la ecuación (11)

$$h_{b 1000} = 5,0 + 0,0125 (kV) =$$

$$h_{b 1000} = 5 + 0,0125 (72,5) = 5,91 \text{ metros}$$

A la altitud de Guatemala 1 502 metros sobre el nivel del mar

De la ecuación (12)

$$h_{bh} = h_{s 1000} + \{ 0,0125 (h_{b 1502} - 1 000)/100 \times h_{b 1000} \}$$

$$h_{b 1502} = 5,91 + \{ 0,0125 (1 502 - 1 000)/100 \times 5,91 \} = 6,28 \text{ metros}$$

$h_{b 1502} = 6,28 \text{ metros}$
------------------------------------

$h_L$  = Altura de remate de líneas que llegan a la subestación (altura de remate)

De la ecuación (13):

$$h_{L 1000} = 5 + 0,006 (kV)$$

$$h_{L 1000} = 5 + 0,006 (72,5) = 5,44 \text{ m}$$

$$h_{L 1502} = 5,44 + \{ 0,0125 (1 502 - 1 000)/100 \times 5,44 \} = 5,78 \text{ metros}$$

$$h_{L 1502} = 6 \text{ metros ya que no puede ser menos.}$$

- Distancia de seguridad

De la ecuación (14):  $d_h$  = Distancia horizontal zonas de circulación de personal.

$$d_h = d_{f-t} + 0,9$$

$$d_h = 0,75 + 0,9 = 1,65 \text{ metros}$$

$$d_h = 1,65 \text{ metros}$$

Ecuación (15):  $d_v$  = Distancia vertical zona de circulación no menor 3 metros.

$$d_v = d_{f-t} + 2,25$$

$$d_v = 0,75 + 2,25 = 3 \text{ metros}$$

$$d_v = 3 \text{ metros}$$

- Zona de circulación de personal

De la ecuación (16):  $d_{h. mant.}$  = Distancia horizontal de mantenimiento.

$$d_{h. mant.} = d_{f-t} + 1,75$$

$$d_{h. mant.} = 0,75 + 1,75 = 2,5 \text{ metros}$$

$$d_{h. mant.} = 2.5 \text{ metros}$$

De la ecuación (17)  $d_{v. mant.}$  = Distancia vertical de mantenimiento.

$$d_{v. mant.} = d_{f-t} + 1,25$$

$$d_{v. mant.} = 0,75 + 1,25 = 2 \text{ metros}$$

$$d_{v. mant.} = 2 \text{ metros}$$

En zonas donde no hay cercas de protección la altura mínima del suelo de las partes vivas, debe permitir la circulación del personal. Dicha altura mínima es la suma de la distancia de fase a tierra ( $d_{f-t}$ ) más 2,25 metros. Que es la altura que puede alcanzar un operador de talla media o con el brazo levantado.

La altura mínima de las partes vivas sobre el suelo en zonas no protegidas por cercas, siempre deben ser superiores a 3 metros y la altura mínima sobre el suelo, para la parte inferior de un aislador tipo columna, en zonas no protegidas debe ser superior a 2,25 metros.

Los barandales deben tener 1,20 metros de altura y estar alejados de las partes vivas a una distancia igual a la distancia base de fase a tierra ( $d_{f-t}$ ).

- Zona de circulación de personal

Estas no son requeridas ya que en la subestación no hay ingreso de vehículos de ningún tipo.

- Zona de trabajo

En la sección de alta tensión de una subestación, después de desconectar los interruptores y cuchillas de la sección que se trate y sin desconectar las secciones contiguas, el personal de mantenimiento debe trabajar con seguridad plena. Las distancias de seguridad en las zonas de trabajo se determinan sumando la distancia base más una longitud y en ningún caso la distancia total debe ser inferior a 3 metros.

Distancia vertical mínima 3 metros y valor básico 1,25 metros

Distancia horizontal mínima 3 metros y valor básico 1,75 metros

De la ecuación (18):

Distancia de pararrayos

$D_{\text{pararrayos}} = 2 (0,75) = 1,50$  metros

$D_{\text{pararrayos}} = 1,50$  metros



Tabla VI. Comparación de distancias dieléctricas en la subestación

Tipo de subestación	Diseño máximo (kV)	Valor kV nominal (KV) kilovoltios	NBI (KV)	Libranzas a tierra partes rígidas Dft en metros	Separación entre fases(o partes vivas) Dff metros	
Al aire	72,50	69	350	0,72	0,79	
Encerrada	72,50	69	350	0,64	0,79	
Oakland Mall 1 500 msnm	72,50	69	350	0,75	0,86	
Tipo de subestación	Altura de los equipos sobre el nivel del suelo(Primer nivel de barras) h <sub>s</sub> en metros	Altura de Barras colectoras sobre nivel del suelo h <sub>b</sub> (2do. nivel de barras) en metros	Altura de remate de líneas que llegan a la subestación (Altura de remate) h <sub>L</sub> en metros	Distancias de seguridad		
				D <sub>v</sub> vertical en metros	D <sub>h</sub> horizontal en metros	
Al aire *	3,06	5,91	6,00	3,00	1,62	
Encerrada *	3,06	6,00	6,00	3,00	1,54	
Oakland Mall 1 500 msnm	3,25	6,28	6,00	3,00	1,65	

Fuente: Martín, José Raúl. Diseño de subestaciones eléctricas. p.281.

\*Dimensiones y libranzas básicas en estructuras eléctricas según norma National Electrical Manufacturers Association (NEMA)

Tabla VII. Distancias mínimas a partes energizadas descubiertas

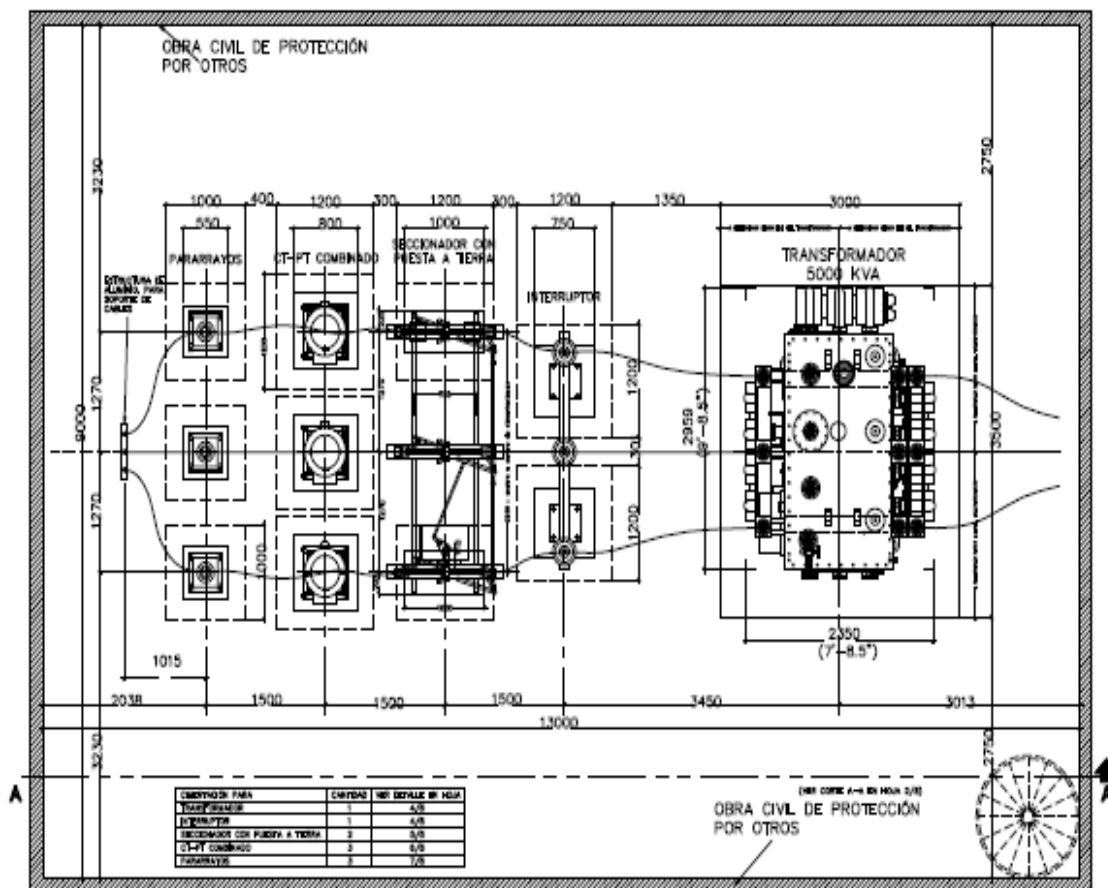
Máxima tensión de diseño entre fases	Nivel Básico de Aislamiento al Impulso NBI(BIL)	Altura mínima	Distancia horizontal mínima	Mínima de resguardo a partes energizadas	Distancia "R" distancia mínima de seguridad horizontal y vertical
kV	kV	m	m	m	m
72,5	350	3,18	1,50	0,584	3,5

Fuente: Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución. p.15.

### 3.3.2. Área de instalación de la subestación

La subestación se ubica en un área cerrada de 12 metros de largo por 9 metros de ancho. Tiene 1,65 metros de corredor entre transformador y interruptor, 2,50 metros de corredores laterales, área de equipo interruptor, seccionador, pararrayos TCs. y TPs de 6 metros de largo por 4 metros de ancho y el transformador ocupa un área de 3 metros de la largo por 2,4 metros de ancho.

Figura 10. Planta de la subestación Oakland Mall



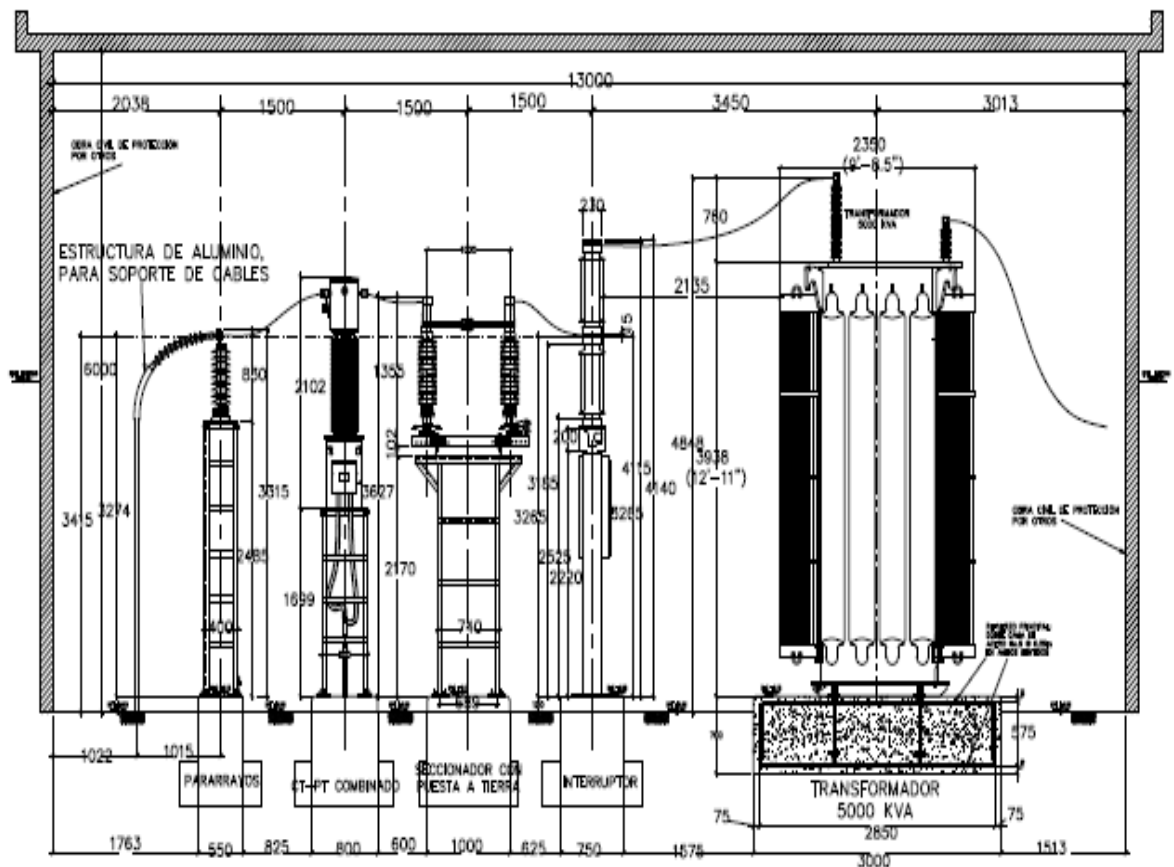
PLANTA DE CIMENTACIONES, ESTRUCTURAS Y EQUIPOS PARA SUB-ESTACIÓN 69 KV EN SOTANO 1

Fuente: CISMA. S.A.

### 3.3.3. Distancias de equipos

La figura longitudinal muestra la separación entre equipos. De pared a pararrayos 1,20 metros. de pararrayo a TPs y TCs combinados 0,524 metros, entre TPs y TCs combinados a seccionador 0,35 metros, entre seccionador e interruptor 0,48 metros, entre interruptor y transformador 1,90 metros y entre transformador y pared 1,50 metros.

Figura 11. Corte longitudinal de la subestación



CORTE LONGITUDINAL A-A DE SUB-ESTACIÓN 69 KV EN SOTANO 1  
DISTRIBUCIÓN DE QUINTACIONES Y ESTRUCTURAS PARA EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS

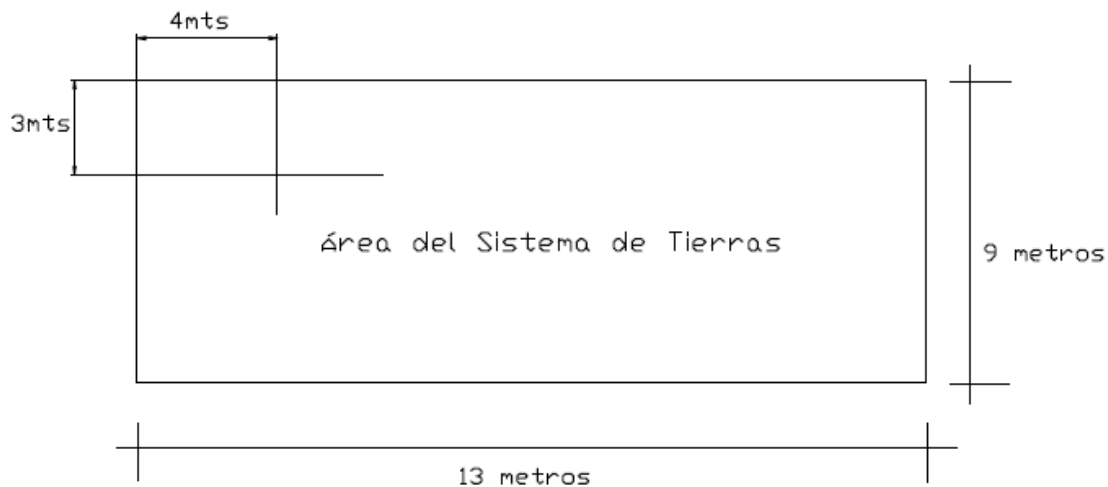
Fuente: CISMA. S.A.

### 3.4. Diseño de redes de tierras de la subestación

Cuando ocurre una falla en la subestación, existe una corriente de falla fluyendo a tierra, donde su trayectoria produce gradiente de potencial, los cuales son altamente peligrosos para el equipos y estructura, pero sobre todo para el personal que circule dentro de la subestación.

A continuación se dan los pasos a seguir para el cálculo de las redes de tierra en la subestación.

Figura 12. Red de tierras de la subestación



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2007.

Datos:

$\rho = 35$  ohmios-metros  $\Omega$ -m, Es el valor de la resistividad del terreno la cual fue medida en las instalaciones del terreno

$a = 9$  metros, Ancho del terreno de la subestación

$l = 13$  metros, Largo del terreno de la subestación.

- La separación entre conductores

Será de 3 metros lado corto y 4 metros lado largo, entonces se tiene:

Lado corto:  $(9 / 3) + 1 = 4$  (Lado longitudinal) (separación cada 3 metros)

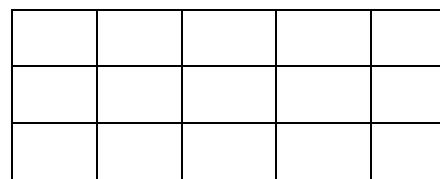
Lado largo:  $(13 / 4) + 1 = 6$  (Lado transversal) (separación cada 2,5 metros)

El diseño de la red de tierras, está diseñada con 4 conductores lado corto y 6 conductores lado largo de la subestación.

- Cálculo de la longitud del conductor

$$L = 9 \times 5 + 13 \times 6 = 123 \text{ metros}$$

9 metros



13 metros

Cálculo de la resistencia de puesta a tierra

De la ecuación (43)

$$a = \sqrt{(123 / \pi)} = 6,25 \text{ metros}$$

De la ecuación (41)

$$R = (35) / (4 \times 6,25) + (35) / 123 = 1,68 \text{ ohmios.}$$

- Método de Werner

Resistencia a tierra: el sistema de tierras deberá consistir de uno o más electrodos conectados entre sí. Este sistema deberá tener una resistencia a tierra baja, para minimizar los riesgos a las personas, en función de la tensión de paso y de contacto.

En la subestaciones el objetivo es que el máximo incremento de potencial a tierra sea menor de 5 000 voltios, la tabla VI muestra los valores máximos de resistencia de la red de tierras en una subestación, valores permitidos de resistencia de red de tierras en ohmios de una subestación, según capacidad de la subestación en mega voltios amperios

Tabla VIII. **Resistencia de red de tierras para una subestación**

menor de 1 MVA	3 ohmios
de 1 hasta 10 MVA	2 ohmios
de 10 hasta 50 MVA	1 ohmios
de 50 hasta 100 MVA	0.5 ohmios
mayor de 100 MVA	0.2 ohmios

Fuente: Norma NTDROID. Artículo 33.4, tabla No. 17. p.46.

- Diseño de la red de tierras para subestación Oakland Mall

Datos:

Resistividad del terreno  $\rho = 35$  ohmios-metros

Resistencia requerida 2 ohmios

De la ecuación (41),

$$R = \rho / (4r) = 35 / (4 \times 5) = 1,75 \text{ metros}$$

De la ecuación (42),

$$r' = 1,75 + 0,1 \times 1,75 = 1,925 \text{ metros}$$

De la ecuación (43),

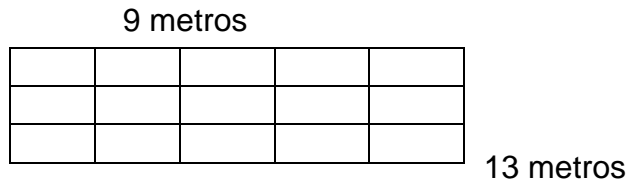
$$a = \sqrt{(123 / \pi)} = 6,25 \text{ metros cuadrados}$$

El area del lugar = A'

$$a' = 13 \times 9 = 117 \text{ metros cuadrados}$$

De la ecuación (44),

$$L = 9 \times 4 + 13 \times 6 = 123 \text{ metros}$$



De la ecuación (40)

$$R = (\rho/4r) + (\rho/L)$$

$$R = (35)/(4 \times 6,25) + (35)/123 = 1,68 \text{ ohmios}$$

Tanteo:

$$r' = 1,75 \text{ metros cuadrados}$$

$$a \text{ (m}^2\text{)} = 6,25 \text{ metros cuadrados}$$

$$L \text{ (m)} = 123 \text{ metros}$$

$$r'+10\% = 1,925 \text{ metros cuadrados}$$

$$a' \text{ (m}^2\text{)} = 117 \text{ metros cuadrados}$$

$$R \text{ (}\Omega\text{)} = 1,68 \text{ ohmios}$$

La resistencia calculada cumple con los requisitos para la malla diseñada, ya que para una subestación de 5 mega voltios amperios, de potencia a 69 kilo voltios, debe tenerse una resistividad de 2 ohmios en la tierra.

Cálculo de la corriente de cortocircuito a través del método de componentes simétricas: la potencia de cortocircuito en el punto de entrada de la subestación son datos proporcionados por la Empresa Eléctrica de Guatemala S.A.

$$V_{\text{NOM}} = 69 \text{ 000 voltios}$$

$$P_{\text{CC}} = 1 \text{ 750 mega voltios amperios}$$

Procedimiento de este método se referirán a las impedancias de base.

$$kV = 69 \text{ kilovoltios} \quad \text{voltaje nominal de la subestación}$$

$$MVA_{\text{CC}} = 1 \text{ 750 MVA} \quad \text{potencia de cortocircuito (trifásica a tierra)}$$

$$I_{\text{CC}} = MVA_{\text{CC}} / (\sqrt{3} * kV) \tag{46}$$

$$I_{\text{CC}} = 1 \text{ 750 MVA} / (\sqrt{3} * 69 \text{ kV}) = 14 \text{ kA corriente máxima de cortocircuito.}$$

- Tiempo de duración de falla

Se toma como tiempo de apertura del interruptor 3 ciclos y un total de duración de la falla entre 0,1 y 0,2 entonces  $t = 0,2$  segundos.

- Corriente de diseño ID

Si se calcula la corriente de corto circuito para el diseño de la red, se tiene:

$$I_{\text{DISEÑO}} = F_D \times F_C \times I_{\text{CC}} \quad (47)$$

Tabla IX. **Factores de decremento**

T(duración de la falla) y choque eléctrico	$F_D$ Factor de decremento
0,10	1,25
0,20	1,20
0,25	1,10

Fuente: Norma NTDOID. Artículo 33.4, tabla No. 18. p. 46.

$F_D = 1,2$  Factor de decremento

$F_C = 1,5$  Factor de crecimiento

De la ecuación (47)

$$I_{\text{DISEÑO}} = 1,2 \times 1,5 \times 14 \text{ kiloamperios} = 25,2 \text{ kiloamperios.}$$

- Efecto de hilo de guarda

Si se calcula la corriente de corto circuito para el diseño de la red, se tiene:

$$I_{\text{DISEÑO}} = 25,2 \text{ kiloamperios}$$

Por efecto de los hilos de guarda que entran a la subestación se calcula la porción de corriente que circulará por la red de tierras.



Resistencia de la red = 1,68  $\Omega$

\*0,472 ohmios / kilómetros dato equivalente de tabla para un conductor *PIGEON* para el cual se tiene una resistencia de 0,144  $\Omega$  / 1 000 ft.

El hilo de guarda es de acero de 3/8" y su resistencia es d 1,8  $\Omega$  /km.

Base de las torres, o base del poste diámetro = 0,50 metros.

Radio equivalente = 0,50/2 = 0,25 metros.

Resistencia de la torre = 35/(2X0,25X3,1416) = 22,2  $\Omega$

Habiendo 12 torres / kilómetros o 12 postes/km.

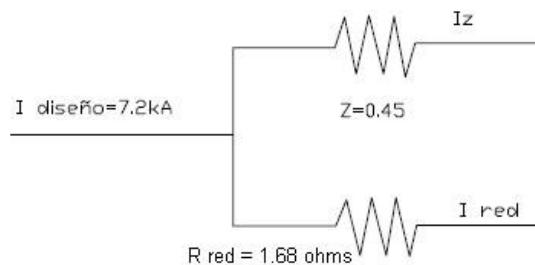
Tenemos que  $R_2 = 22,2/12 = 1,8 \Omega$

La impedancia equivalente de los hilos de guarda

$$Z = \sqrt{(Z_1 * R_2)} \quad (48)$$

$$Z = \sqrt{(1,8 * 0,472)} = 0,9 \Omega$$

Figura 13. Impedancia de la red de tierras



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2 007.

Porción de corriente que circula por la red de tierra =  $I_R$

$$I_R = Z / (Z + R) \quad (49)$$

$$I_R, 0,9/(0,9+1,68) = 0,33$$

Corriente de red  $I_{Red}, = I_R \times I_{DISEÑO}$  (50)

$$I_{Red}, = 0,3 \times 25,2 = 7,5 \text{ kiloamperios}$$

Elevación de tensión de la red =  $E_{Red} = I_{Red} \times R_{Red}$  (51)

$$E_{Red} = 7,5 \text{ kA} \times 1,68 = 12,60 \text{ kilovoltios.}$$

- Cálculo de los potenciales tolerables al cuerpo humano

El voltaje de paso ecuación (24) es:

$$E_p = (116 + 0,696 (35)) / \sqrt{0,2} = 311,91V$$

El voltaje de contacto ecuación (25) es:

$$E_t = (116 + 0,174 (35)) / \sqrt{0,2} = 271,31V$$

- Cálculo de los potenciales de paso y contacto de la malla

D = 3 metros

h = 0,5 metros

d = 0,013 metros (conductor 4/0 Instalado en la red)

n: número de conductores longitudinales(n = 5)

De la ecuación (31)  $N = (9/5) + 1 = 2,8 = 3$

De la ecuación (32)  $K_i = 0,65 + 0,172 (3) = 1,16$

$$K_m = \left\{ \frac{1}{2\pi} \times \ln \left( \frac{3^2}{16(0,5)(0,013)} \right) \right\} + \left\{ \frac{1}{\pi} \times \ln \left\{ \left( \frac{3}{4} \right)^*(5/6) \right\} \right\}$$

$$K_m = 0,56$$

Donde: n = número de conductores transversales (n = 4)

D = 4 metros

h = 0,5 metros

d = 0,013 metros (conductor 4/0 Instalado en la red)

De la ecuación (32)

$$K_s = \frac{1}{\pi} \times \left\{ \frac{1}{(2 \times 0,5)} + \frac{1}{(2+0,5)} + \frac{1}{2(4)} + \frac{1}{3(4)} \right\} = 0,70$$

- Potencia de la malla de la red

$$E_{t \text{ Malla}} = (K_i * K_m * \rho_s * I_{red}) / L$$

$$E_{t \text{ Malla}} = (1,35 * 0,56 * 35 * 7,5k) / 123 = 1,61 \text{ kilovoltios}$$

- Potencial de paso

De la ecuación (35)

$$E_{p \text{ paso}} = (K_s * K_i * \rho_s * I_{red}) / L$$

$$E_{p \text{ paso}} = (0,70 * 1,35 * 35 * 7,5k) / 123 = 2,02 \text{ kilovoltios}$$

- Longitud de seguridad

De la ecuación (32)

$$L_{\text{seguridad}} = (K_i * K_m * \rho * \sqrt{t} * I_{red}) / (116 + 0,174 (\rho_s))$$

$$L_{\text{seguridad}} = (1,35 * 0,56 * 35 * \sqrt{0,2} * 7,5k) / (116 + 0,174 (3 \text{ 000})) = 139,1 \text{ metros}$$

- Resultados

Para que la red de tierra sea segura se debería cumplir los siguientes aspectos:

$$L_{\text{seguridad}} < L_t$$

$$E_{\text{malla}} < E_c$$

$$E'_p < E_{\text{paso}}$$

- Comparando los resultados de los cálculos realizados se obtiene

$$139,1 \text{ metros} > 123,00 \text{ metros}$$

$$1 \text{ 610 voltios} > 311,91 \text{ voltios}$$

$$2 \text{ 020 voltios} > 271,31 \text{ voltios}$$

Los datos anteriores no se cumplen ya que este procedimiento de red a tierras sé suele utilizar en subestaciones grandes. En el caso de subestaciones pequeñas o compactas se usa el método de Werner que se utiliza para subestaciones pequeñas, edificios centros comerciales.

### 3.5. Selección de características técnicas de los equipos

Al escoger el equipo se deben de tomar las características técnicas, en base a ellas se ven las diferencias de los diferentes subestaciones a continuación se dan sus características técnicas.

- Transformador de potencia

Marca: *BELVEA Electrical Power Systems*

# De serie: 507411689

Frecuencia: 60 Hz

Voltaje: 69/ 13,8kV

Impedancia: H-X 5 000 kVA a 11.5 porciento

Peso: 15 000lbs

Tanque y *fittings* 11 000 libras

Transformador 112 por ciento de su carga a temperatura *rise* 65 centigrados:

Alta: H – WDG kVA 500kVA QA/6 250/FAA 67 000 a voltios BIL=350

Baja: X – WDG kVA 500kVA QA/6 250/FAA 13 200Y/7 620 voltios BIL=110

Fases: Trifásico

Capacidad: 5 MVA

Clase: QA/6 250/FAA

Aceite: 2 065 *gals*

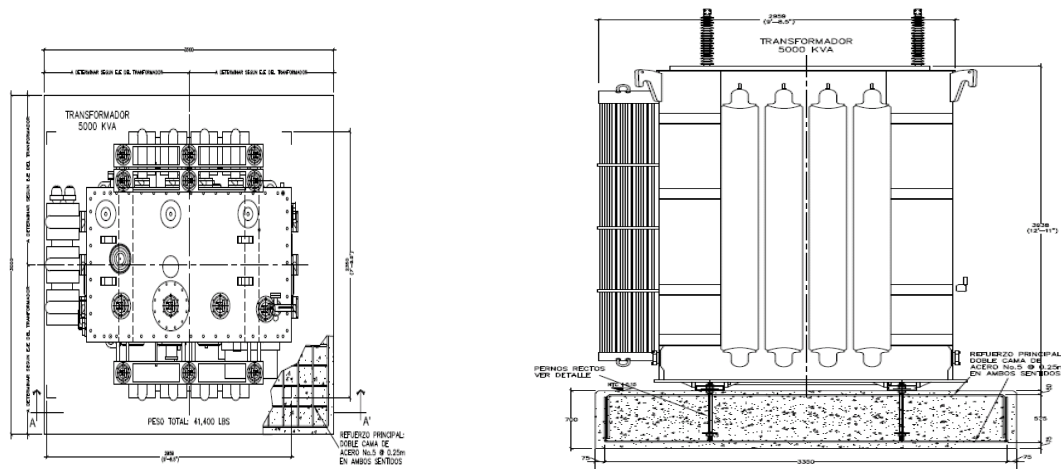
Peso total: 41 400 libras

Tabla X. **Especificaciones transformador de potencia**

Lado de	ALTA H		Lado de BAJA X	
<b>Voltios H1=H2=H3</b>	<b>Amperes</b>	<b>TAP changer for emergezer</b>	<b>Voltios X1=X2=X3</b>	<b>Amperes</b>
	5 000 5 600 kVA	<i>Pos connects</i>		
70 600	40,9 - 45,6	1 4 to 5		5 000/5 600
65 600	42,0 - 47,0	2 3 to 5	13 200	216,7 / 245
67 000	43,1 - 48,3	3 3 to 6		
65 200	44,3 - 49,6	4 2 to 6		
63 400	45,5 - 51,0	5 2 to 7		

Fuente: CISMA. S.A.

Figura 14. Vista de la planta y sección de cimentación del transformador



Fuente: CISMA. S.A.

- Seccionador

Marca: *ABB limited*

kV nominal: 69

BIL: 350 kV

Estilo: 1HYD900616-302

*Rated current:* 1 600 A

Aislador de un polo 4kg

Aislador creo age distancia 25 mm/kV

F1 terminal de carga estática 0,5 kN

F1 terminal de carga dinámica 2,5 kN

*Disconnector* SGF 725 n100

kV Máximos: 72,5

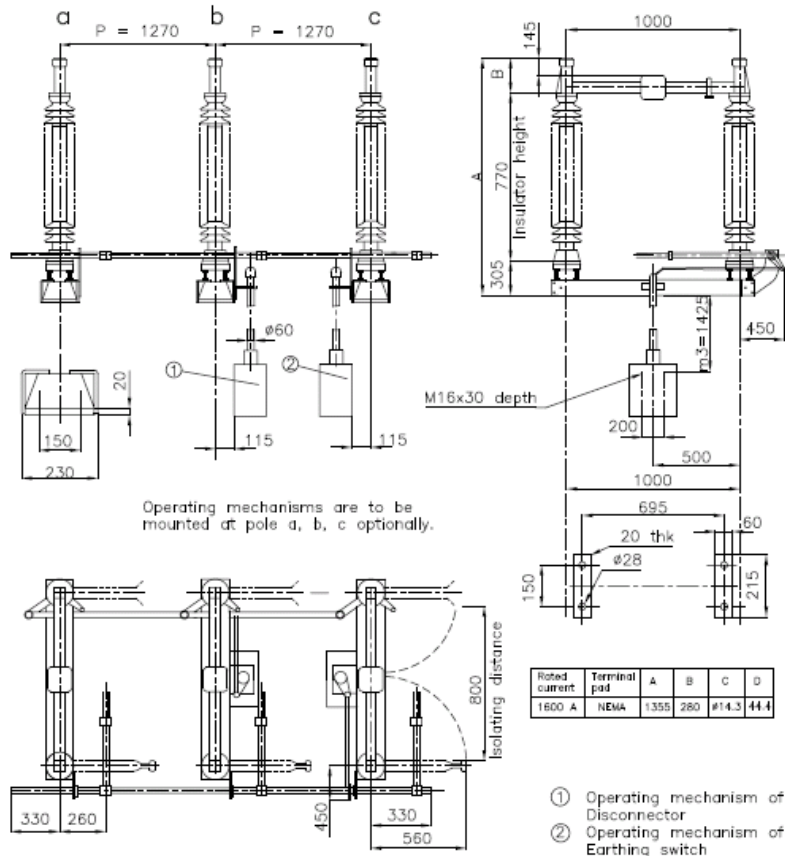
Amperio Cont. 1 200 MOM: 61 000

*Rated voltage:* 72,5 kV

Peso desconectador 90 kg

Peso del aislador 35 kg

Figura 15. **Detalle de la estructura del seccionador**



Fuente: CISMA. S.A

- Transformador de medición PTs y CTs combinados

Marca: ITEC *Instrument Transformer Equipment Corporation*

Modelo: CVTO 350

NSV/BIL: 69 / 359 kV

*Connections Ratio Connect*

CTs 100:5 Z1- Z3

50: 5 Z2 – Z3

*Rating factor: 1, 5*

*1sec Terminal rating: 6 kA RMS*

*Dinamic Rating: 8 kA RMS*

*Primary voltage: 40 250 V*

Secudary voltage: 115/67, 08 V

Tertiary voltage: 115/670, 8 V

Connections Ratio Connect

VTs 350 t1 X1- X3/ Y1-Y3

600 t1 X2- X3/ Y2-Y3

Oil/total /Wt: 60 Gallons 1,000 Lb

- Interruptor de 69 kV

CUSTOMER

P.O.NO.

CONTROL VOLTAGE CLOSE/TRIP

SPRING DRIVE MOTOR VOLTAGE

HEATER VOLTAGE

ABB REF. NO.

GENERAL ARRANGEMENT

SCHEMATIC DIAGRAM

LAYOUT ELECTRICAL COMP

RATING PLATE

SF6 Circuit Breaker type EDF Sk1-1

ABB S.A.

738017 DTD.07.07.2008.

125 VDC.

125 VDC.

208 VAC.

5000001954.

1HYB990013-A

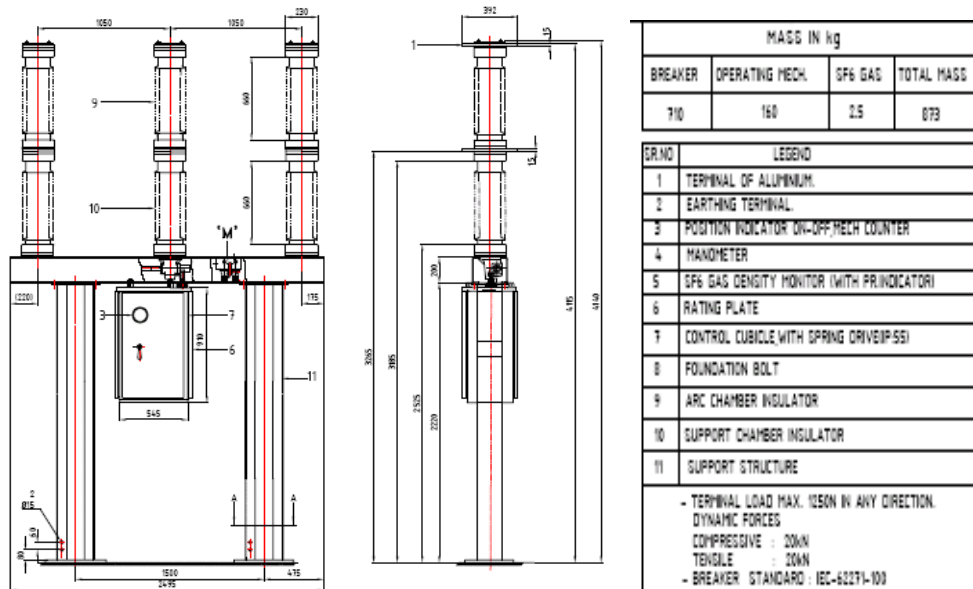
1HYB990030-1

1HYB990031-1

1HYB902007-9

72,5 kV General arrangement

Figura 16. Detalle de la estructura del interruptor

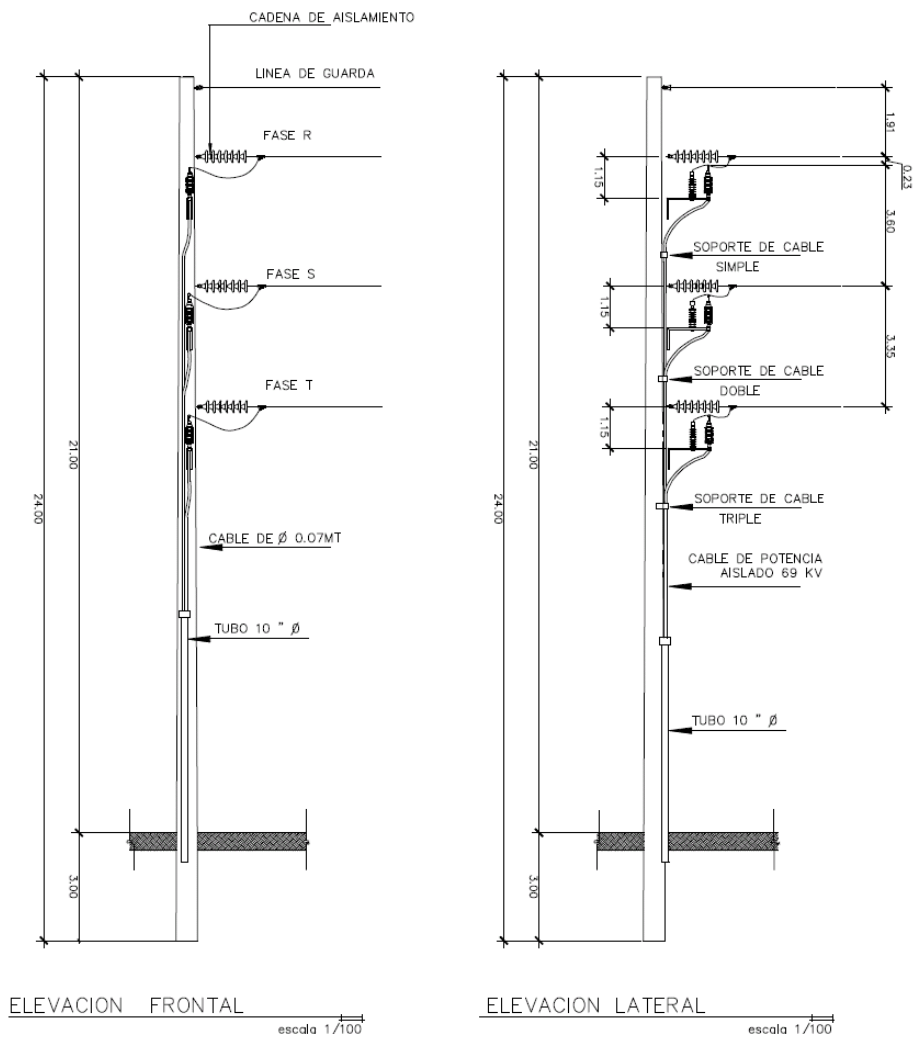


Fuente: CISMA. S.A.

### 3.6. Configuración de poste acometida primaria subterránea de 69 kilovoltios

La figura muestra separación entre líneas. Separación entre hilo de guarda y fase R 1,9 metros, entre fases R a S de 3,60 metros y entre fases S a T de 3,35 metros.

Figura 17. Elevación frontal y lateral de la acometida de 69 kilovoltios



Fuente: CISMA. S.A.



## 4. INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN OAKLAND MALL

### 4.1. Red de tierras

Una red de tierras es el suelo donde se instalará la subestación, pero este suelo se preparará para que sirva de protección del equipo de la subestación además del personal que hace el mantenimiento. Instalación de la red de tierras. En la imagen se ve el conductor desnudo de cobre que va ser parte del sistema de tierras.

Figura 18. **Red de tierras centro comercial Oakland Mall**



Fuente: centro comercial Oakland Mall.

- Lista de materiales para la red de tierras

A continuación se muestran todas las cantidades y materiales necesarios para la construcción de la red de tierras de la nueva subestación.

Tabla XI. **Materiales para la construcción de la red de tierras**

<b>MATERIALES</b>	<b>PRECIO UNITARIO aprox.</b>
Conductor AWG 4/0 de cobre (Cu) desnudo	Q 39,76
Empalme <i>Cadwel</i> 4/0 AWG, tipo X	Q 96,98
Empalme <i>Cadwel</i> 4/0 AWG, tipo T	Q 77,58
Empalme <i>Cadwel</i> 4/0 AWG, derivación a varilla	Q 102,68
Molde <i>Cadwel</i> 4/0, tipo X	Q 1 369,08
Molde <i>Cadwel</i> 4/0, tipo T	Q 1 369,08
Molde <i>Cadwel</i> 4/0, derivación a varilla	Q 1 597,28
Molde Empalme a cable 4/0, tipo cc	Q 1 118,08
Empalme cc 4/0 AWG	Q 66,17
Empalme en entallar 4/0 AWG	Q 47,92
Varilla cobre (Cu) $\frac{5}{8}$ " x 8'	Q 63,89
Bentonita	Q 54,76
Cloruro de Magnesio	Q 13,69
Caja de registro tipo contador de agua	Q 51,34

Fuente: elaboración propia.

#### **4.2. Alimentación de la subestación**

La alimentación de la subestación se refiere que de los conductores de alimentación eléctrica que están en la calle pública se introducen al inmueble privado en una zanja y protegidos en tubos.

Figura 19. **Zanja colocación de tubería que alimentará la subestación**



Fuente: centro comercial Oakland Mall.

#### **4.3. Colocación del transformador**

Planta de ubicación cimentaciones estructuras y equipos para la subestación de 69 kilovoltios en sótano de Oakland Mall.

Figura 20. **Transformador de potencia en subestación**



Fuente: centro comercial Oakland Mall.

#### **4.4. Llenado del transformador**

Llenado de aceite dieléctrico del transformador por medio de una máquina de filtrado de aceite dieléctrico, la manguera de color negro es por donde se introduce el aceite del camión al transformador.

Figura 21. **Llenado de transformador**



Fuente: centro comercial Oakland Mall.

#### **4.5. Instalación de los transformadores de medición**

Los transformadores de corriente son equipos destinados a alimentar los instrumentos de medida y de control; por lo tanto en estos transformadores la intensidad secundaria es proporcional a la primaria y desfasada con relación a la misma un ángulo próximo a cero, para un sentido apropiado de las conexiones. Por lo tanto la función de los transformadores de corriente, es reducir a valores no peligrosos y normalizados según las características de intensidad de una red eléctrica.

Transformadores de tensión, en los cuales la tensión secundaria es, en las condiciones normales de uso, prácticamente proporcional a la tensión primaria y desfasada con relación a la misma un ángulo próximo a cero, para un sentido apropiado de las conexiones. La función de los transformadores de voltaje, es reducir a valores no peligrosos y normalizados según el nivel de tensión de una red eléctrica. De esta manera, se evita la conexión directa entre los instrumentos y los circuitos de alta tensión, que sería peligroso para los operarios y requeriría cuadros de instrumentos con aislamiento especial.

Características:

Instalación exterior

Aislamiento papel de aluminio/capa de polipropileno/aceite sintético

Tensión máxima de 72 - 765 kV      Temperatura -40 a 40 °C

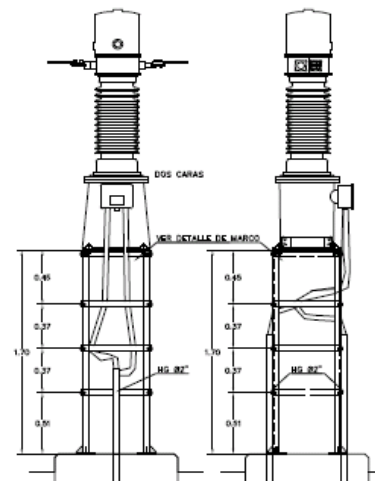
Corriente primaria max. Hasta 4 000 A

Corriente de cortocircuito hasta 43 kA/ 1s

Figura 22.      **Colocación de transformadores de medición, combinados TC's y TP's**



Fuente: centro comercial Oakland Mall.



Fuente: CISMA. S.A.

#### 4.6. Instalación de apartarrayos

Los apartarrayos son dispositivos que ayudan proteger el equipo contra descargas electro atmosféricas (rayos), así se evita que dañen el equipo de la subestación.

- Características

Los descargadores son excelentes limitadores de tensión. Es un diseño robusto y óptimamente adaptado a los demás aparatos de las subestaciones. Descargador con revestimiento porcelana para 10 kiloamperios IEC clase 3 tensión nominal de 42-228 kilovoltios, intensidad de descarga alta y resistencia mecánica de 7 500 Newton metro.

Cada descargador está compuesto por una o varias unidades. Cada unidad está formada por un revestimiento de porcelana que contiene una columna sencilla de bloques de ZnO sometidos a extensas pruebas rutinarias individuales durante la fabricación y separados con el número de separadores que requiere el diseño eléctrico del descargador. El color normal de la porcelana es marrón, pero se puede entregar de color gris a petición.

Figura 23. Instalación de apartarrayos



Fuente: centro comercial Oakland Mall.

#### 4.7. Instalación del interruptor SF6

Dispositivo que sirve como acciona y desacciona de la alimentación eléctrica.

- Características

Utiliza gas Hexafluoruro de azufre (SF6) para extinguir el arco eléctrico y como medio de asilamiento. La interrupción en SF6 ocurre sin generación de sobrecorrientes. Interrupción de arco y control son alcanzados a través del principio de auto solapado.

Dos contactos de niveles de presión (presión de gas baja y presión de gas insuficiente). 10 000 operaciones sin carga y 10 000 operaciones a corriente nominal. El gabinete metálico tiene un grado de protección IP54 con la puerta cerrada y esta última cuenta con ventana de inspección. Diseño compacto, garantiza un alto grado de robustez y confiabilidad mecánica.

Figura 24. Colocación del interruptor de potencia SF6



Fuente: centro comercial *Oakland Mall*



Fuente: catálogo ABB.



#### 4.8. Instalación del seccionador

Dispositivos sirven para conectar y desconectar diversas partes de una instalación eléctrica, para efectuar maniobras de operación o mantenimiento.

Figura 25. **Instalación de las cuchillas seccionadoras**



Fuente: centro comercial Oakland Mall.

#### 4.9. Tablero de control

Dispositivo que se utiliza para controlar los aparatos de la subestación, cuando deben accionarse y cuando debe cerrarse. Tablero de control. Relevador de protección TPU2000R. Modem de comunicación.



Figura 26. Interior y exterior del tablero de control



Fuente: centro comercial Oakland Mall.

#### 4.10. Cargador y banco de baterías

Son los dispositivos eléctricos o electrónicos que se utilizan para cargar y mantener en flotación, con carga permanente, de la batería de que se trate. Banco de baterías son dispositivos de almacenamiento eléctrico.

Figura 27. Cargador de baterías y banco de baterías



Fuente: centro comercial Oakland Mall.

#### 4.11. Alimentación de la subestación

Estos accesorios son ideales para uso en instalaciones donde las terminales deben ser usadas como un punto de conexión fija y para instalaciones, donde hay un riesgo de corrientes de fuga muy altas. Reúne los requerimientos de las normas SS, IEC y IEEE.

Los terminales para cables de potencia están conformados por un aislador. La base debe ser instalada sobre un sujetador. Se instala horizontalmente sobre la tierra antes de su puesta en marcha.

El máximo diámetro transversal permisible de la envoltura es de 85 milímetros. La máxima sección transversal del cable es de 1 200 milímetros cuadrados. El perno superior con un diámetro de 30 milímetros, esta incluido con el equipo. Se puede elegir entre el tipo de presión o el soldado.

La instalación puede ser simplificada por ensamblaje de la terminación horizontalmente sobre la tierra antes de su puesta en marcha. Cable compuesto de goma. Aplicable en frío en todo tipo de ambientes.

Figura 28. **Cable XLP 69 kilovoltios de alimentación y terminaciones**



Fuente: centro comercial Oakland Mall.

#### **4.12. Salida de transformador 13,2 kilovoltios**

La figura muestra como del transformador salen 3 cables de alimentación secundaria y van al seccionador el activará la alimentación o la quitará según se requiera.

Figura 29. **Salida de transformador 13,2 kilovoltios hacia el centro comercial**



Fuente: centro comercial Oakland Mall.

#### 4.13. Subestación terminada

La imagen muestra la subestación en serrada en un área con láminas, se nota el transformador de derecha a izquierda le sigue el interruptor, seccionador, apartarrayos. Interconexión de los equipos que conforman la subestación.

Figura 30. Subestación en el centro comercial Oakland Mall terminada



Fuente: centro comercial Oakland Mall.

## **5. PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD EN LA INSTALACIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

### **5.1. Introducción**

La electricidad es una parte tan común de nuestras vidas que es fácil olvidar los peligros asociados con su uso. La falta de respeto hacia esos peligros trae como resultado un número elevado de muertes por electrocución en el trabajo. Los choques eléctricos lo suficientemente fuertes como para matar a una persona ocurren cuando la corriente de la electricidad viaja a través del cuerpo, especialmente cerca del corazón.

- El choque eléctrico también puede causar

Dolor intenso, daño a los nervios, músculos o tejidos, sangrado interno pérdida de la coordinación y control muscular, paro cardíaco. Los choques eléctricos pueden evitarse tomando en cuenta los siguientes procedimientos de seguridad.

### **5.2. Peligros**

La electricidad siempre fluye a través del camino que ofrezca la menor resistencia. El cuerpo humano presenta poca resistencia a las corrientes eléctricas debido a su alto contenido de agua y electrolitos. Las siguientes condiciones se aprovechan de las buenas propiedades de conducción del cuerpo humano y pueden causar electrocución:

El contacto con cables o alambres que no estén debidamente aislados. El contacto directo con conductores eléctricos tales como cables eléctricos. Tocar equipo de la subestación. Tocar un artefacto cargado con electricidad con las manos mojadas o mientras está parado en una superficie húmeda.

El flujo de la corriente eléctrica corriendo a través del cuerpo puede causar quemaduras graves internas y externas. Más aún, las severas quemaduras externas frecuentemente son el resultado del contacto directo con equipo recalentado por una corriente eléctrica.

Los circuitos o equipos sobrecargados pueden causar incendios o explosiones, especialmente si ocurren en áreas donde se almacenan sustancias explosivas o inflamables.

### **5.3. Normas técnicas aplicables**

Las normas aplicables para el diseño, construcción y los equipos, materiales y accesorios son las siguientes:

ANSI	American National Standards Institute.
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
NESC	National Electrical Safety Code.
NEC	National Electrical Code.
NEMA	National Electrical Manufacturers Association.
IEC	International Electrical Committee.
NTDOID	Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

El equipo, materiales y accesorios tendrán que cumplir con la última revisión de dichas normas aplicables a cada equipo, componente o material, si se utiliza otras normas el proveedor debe indicar la norma utilizada y su equivalente. Sin embargo los valores de la norma utilizada, debe tener valores iguales o superiores que los indicados en las normas mencionadas, al igual que debe presentar cuadro comparativo de los valores de la norma utilizada y el correspondiente a las normas solicitadas. El cumplimiento de las normas se verificará en los catálogos originales del fabricante.

#### **5.4. Normas y especificaciones aplicadas en Guatemala**

La Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. (EEGSA). Es la compañía encargada de suministrar el servicio eléctrico a los departamentos de ciudad Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla; por lo tanto, desarrolló normas para acometidas del servicio eléctrico, las cuales persiguen que las instalaciones sean adecuadas a fin de que el consumidor obtenga un uso eficiente del servicio eléctrico.

EEGSA; recomienda que la instalación eléctrica del consumidor sea hecha de acuerdo con normas internacionales establecidas, tales como el Código Eléctrico Nacional (NEC) de los Estados Unidos. En la sección de acometidas para apartamentos, edificios centros comerciales y edificaciones similares.

## **5.5. Procedimientos de seguridad en el lugar de trabajo**

Para la identificación de peligros comunes, se deben de seguir los siguientes procedimientos. Ya que brindan una forma efectiva de reducir accidentes relacionados con la electricidad:

Use procedimientos de cierre/etiquetado antes de comenzar a trabajar en circuitos y equipos eléctricos. Evite trabajar cerca de fuentes eléctricas cuando usted, sus alrededores, sus herramientas o su ropa estén mojados.

Tenga una toalla o un trapo a la mano para secarse las manos. Suspenda cualquier trabajo de electricidad al aire libre cuando comience a llover.

Ventile el área de trabajo para reducir peligros atmosféricos como polvo, vapores inflamables o exceso de oxígeno. Mantenga un ambiente limpio y ordenado, libre de peligros.

Disponga ordenadamente las herramientas y equipos, colocando todo en su debido lugar después de cada uso. Mantenga el área de trabajo libre de trapos, basura y otros escombros o desechos.

Limpie rápidamente los líquidos que se hayan derramado y mantenga los pisos completamente secos. Use cables que son a prueba de agua al aire libre. Proteja todos los cables eléctricos cuando los utilice en o alrededor de los pasillos.

Evite usar cables eléctricos cerca de calor, agua y materiales inflamables o explosivos. Nunca use un cable de extensión con el aislante dañado.



## 5.6. Distancias de operación segura

Las herramientas eléctricas deben cumplir con las normas del Código Nacional de Electricidad (NEC), para fundas con doble aislamiento o para hacer tierra con el tercer cable eléctrico. Las herramientas de mano también deberán tener agarraderas aislantes de fábrica.

- Siga estas sugerencias cuando utilice herramientas eléctricas
  - Inspeccione las herramientas antes de comenzar el trabajo para determinar desgastes o defectos. Revise las herramientas para asegurarse de que todos los protectores de seguridad o protecciones estén en su lugar.
  - Nunca modifique las herramientas o el equipo eléctrico. Inspeccione los cables eléctricos e interruptores para determinar si tienen cortes, el aislante desgastado, terminales expuestos y conexiones sueltas.
  - Asegúrese de que las herramientas estén limpias, secas y libres de partículas grasosas o depósitos de carbón. No cargue, almacene o cuelgue las herramientas eléctricas por el cable.
  - Deje de usar las herramientas inmediatamente si comienza a salir humo, chispas o si las mismas producen descargas eléctricas.
  - Asegúrese de que el cable de extensión sea del tamaño o clasificación correcta para la herramienta que se está utilizando.

## 5.7. Primeros auxilios

Es de suma importancia que el personal que hace el mantenimiento eléctrico en la subestación sepa de primeros auxilios, ya que el momento menos esperado puede producirse algún daño al personal.

- No toque a la víctima. Llame para obtener inmediatamente ayuda médica profesional. Apague la fuente de electricidad si puede hacerlo sin correr riesgo.
- Use un palo seco (o cualquier otra cosa que no sea conductora de electricidad) para empujar a la persona fuera de la fuente eléctrica.
- Una vez que la víctima esté separada de la fuente de energía, adminístrele tratamiento para choque, y cúbrala ligeramente hasta que llegue ayuda.
- Adminístrele respiración artificial si dejó de respirar. Adminístrele resucitación cardio-pulmonar, en caso de paro cardíaco. Cubra las quemaduras ocasionadas por la electricidad con un paño limpio.

## **6. EQUIPO NECESARIO PARA EL MANTENIMIENTO DE LA SUBESTACIÓN**

### **6.1. Introducción**

Todo personal que trabaje en el área de mantenimiento de subestaciones debe conocer el equipo necesario para trabajar en el mantenimiento de las mismas, que ropa de requiere, que herramientas se deben usar, como usarla, y así evitar accidentes en la zona de trabajo.

La mayoría de los accidentes provocados en el mantenimiento de subestaciones se debe a la falta de conociendo del equipo y como debe ser usado. El equipo necesario para la protección contra arco eléctrico, equipo para trabajar en líneas vivas, trabajos en alturas, herramientas de mano aisladas. que se usan en el mantenimiento de subestaciones eléctricas.

Se recomienda el siguiente equipo de protección personal (PPE, por sus siglas en inglés) para evitar que su cuerpo se convierta en un conductor de electricidad:

Protección para la cabeza, ojos y cara no conductora de electricidad. Ropa y guantes de goma. Zapatos o botas con suela de goma. Todo el equipo de protección personal (PPE) debe quedar debidamente ajustado y debe ser lavado y guardado cuando no se utilice. Todo equipo y mecanismo de protección contra electricidad debe ser examinado regularmente para asegurar su adecuado funcionamiento, de acuerdo con las especificaciones de 29 CFR 1910.137.

## 6.2. Ropa de protección en el mantenimiento de subestaciones

La ropa que requiere el personal de mantenimiento en subestaciones contra riesgo de arco eléctrico debe cumplir con lo requerido por el RETIE.

Se debe vestir ropa cómoda y práctica para el trabajo. Use un buen par de zapatos de seguridad resistentes al aceite con suelas y tacones anti-resbalantes. No use ropa que le restrinja el movimiento. Use ropa de algodón. Evite la ropa suelta ya que puede enredarse en el equipo.

Ropa y accesorios contra arco eléctrico desde 8 hasta 100 cal/cm., para protección integral de pies a cabeza. Abotone los puños de la camisa. Cúbrase el cabello con gorros. Use cascos protectores clase B cuando trabaje cerca de cables eléctricos elevados. Evite los cinturones con hebillas grandes de metal.

Cuando use un cinturón para cargar herramientas no deje que las herramientas cuelguen fuera de los sujetadores o que cuelguen fuera del cinturón. Quítese el cinturón de cargar herramientas antes de comenzar a trabajar en lugares pequeños. Protección de pies a cabeza.

Figura 31. Ropa de protección en el mantenimiento de subestaciones



Fuente: catálogo de PRODUCEL. p.23.

Figura 32. **Caretas y capuchones contra arco eléctrico**



Fuente: catálogo de PRODUCEL. p.23.

### 6.3. **Equipo de protección al trabajar en líneas vivas**

Todos los elementos necesarios para llevar a cabo trabajos de línea viva: cubre postes, cubre aisladores, cobertores para conductor, mantas, mangas, guantes. Deben de tenerse elementos de protección y limpieza. Caucho tipo I y II desde Clase 00 hasta Clase 4.

Figura 33. **Equipo de protección al trabajar en líneas vivas**



Fuente: catálogo de PRODUCEL. p.24.

Figura 34. **Equipo en líneas vivas**



Fuente: catálogo de PRODUCEL. p.24.

#### 6.4. **Protección para trabajar en alturas**

Quando se va a trabajar en alturas se debe contar con arnés anti caída con toma frontal sencillo, protección lumbar, líneas de vida anti caída, eslingas de posicionamiento, eslingas de anclaje, sogas de fibra sintética, cinturones y eslingas de seguridad

Figura 35. **Protección para trabajar en alturas**



Fuente: catálogo de PRODUCEL. p.25.

## 6.5. Elementos para trabajo a distancia

Pértigas en fibra de vidrio, dieléctricas: telescópicas de 4 ha 9 secciones, tipo escopeta o mano mecánicas de 6 a 12 pies. Cizallas boca curva con mangos en acero y mangos aislados en fibra de vidrio. Poleas sencillas dieléctricas y en acero para aparejos

Figura 36. Elementos para trabajo a distancia



Fuente: catálogo de PRODUCEL. p.26.

## 6.6. Herramientas de mano aisladas

Alicates tipo electricista con empalmador, navajas, cuchillos pela cables, destornilladores y juegos de copa.

Figura 37. Herramientas de mano

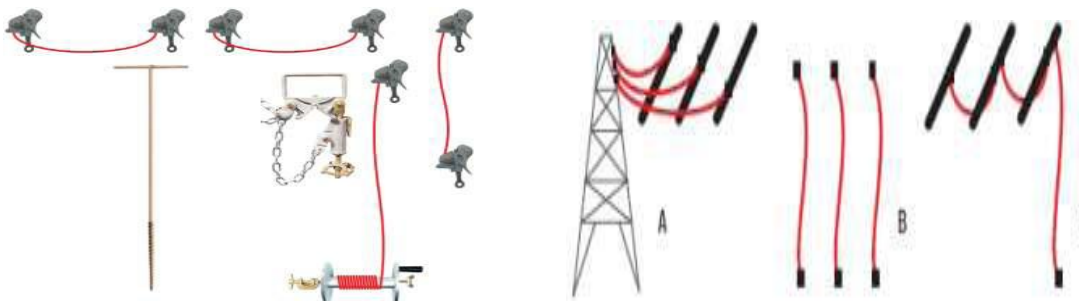


Fuente: catálogo de PRODUCEL. p.26.

## 6.7. Puesta a tierra temporal

Equipos de puesta a tierra temporal, Homologados por CIDET para alta, media y baja tensión. Cumple RETIE.

Figura 38. Puesta a tierra temporal



Fuente: catálogo de PRODUCEL. p.22.



## CONCLUSIONES

1. El diseño de una subestación eléctrica de 69 kilo voltios para ser usada en centros comerciales es de suma importancia, ya que todo ingeniero electricista y personas relacionadas con la electricidad tarde o temprano se encontrarán con el diseño de la misma. Es importante conocer todo lo referente a su diseño e instalación, porque ayudará a reducir costos y tiempo.
2. Debe utilizarse el equipo y herramientas adecuadas por el personal que instale y de mantenimiento a la subestación eléctrica, para evitar sufrir una descarga eléctrica que le podría ocasionar daños severos.
3. Únicamente personal calificado debe dar mantenimiento a la subestación, así se reduce errores que puedan causar daños al equipos y personas.
4. En caso de un accidente con electricidad los pasos que se deben seguir son: llamar a la unidad de respuestas de emergencias, apagar la fuente de electricidad, separar a la víctima de la fuente de electricidad utilizando un palo que no sea conductor de electricidad y darle los primeros auxilios en caso de ser necesario.
5. Las tres causas de accidentes con electricidad son: no seguir los procedimientos de seguridad, equipo de protección personal defectuoso y contacto directo con conductores de electricidad.



## RECOMENDACIONES

1. Crear un folleto que sirva como procedimiento en la instalación de subestaciones eléctricas. Reduce errores en la instalación.
2. Crear un cronograma de actividades en la instalación de la subestación ya que reduce tiempo y dinero.
3. Al trabaja con equipo energizado debe tomarse en cuenta: inspeccionar las herramientas eléctricas antes de usarlas para determinar si tienen daños o defectos visibles. Ventilar el área de trabajo para eliminar una atmósfera potencialmente explosiva.
4. El usar los procedimientos de cierre / etiquetado en todos los componentes eléctricos.
5. Se deberá instalar rótulos de advertencia de peligro o riesgo a la seguridad del público por la presencia de la subestación y las actividades asociadas a ella. Se deberá instalar rótulos con advertencias sobre los riesgos por: contactos eléctricos (especialmente por niños), potencial de paso y de contacto, incremento de tránsito, derrame de químicos, explosiones, incendio y otros que se consideren necesarios. La puerta de acceso deberá tener fijada en la parte exterior y en forma completamente visible, un rótulo con la leyenda PELIGRO ALTA TENSION.
6. Debido a que la subestación es encerrada debe mejorarse la circulación de aire en la misma.

7. En las instalaciones se pondrán en lugares visibles, las siguientes indicaciones:
  - Las instrucciones relativas a los primeros auxilios que deban darse a las víctimas de accidentes causados por la corriente eléctrica.
  - El diagrama unifilar y de planta de conjunto de la subestación.
  - Instrucciones sobre disposiciones especiales que sea necesario observar durante el servicio.
8. Un procedimiento adecuado en la instalación de subestaciones eléctricas ahorra recursos, tiempo y dinero es por ello importante crear lineamientos adecuados para la instalación del equipo de la subestación eléctrica.
9. La creación de un documento que muestre procedimientos a seguir en el mantenimiento de subestaciones eléctricas sea relevante, ya que facilita el mantenimiento, se limitan los errores y daños a equipo y personas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BEDOYA, Guillermo. *Notas de subestaciones eléctricas y alta tensión*. Guatemala, 2004. 378 p.
2. *Catálogo de equipamiento de subestaciones de baja y media tensión*. Colombia: ABB, 2008. 190 p.
3. *Catálogo de equipo de subestaciones eléctricas*. Colombia: ABB, 2006. 157 p.
4. *Catálogo de instalación y mantenimiento de subestaciones de potencia*. Colombia: ABB, 2008. 470 p.
5. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas técnicas de diseño y operación de instalaciones de distribución*. Guatemala: CNEE, 1999. 54 p.
6. Departamento de Seguridad Eléctrica de Texas. *Normas de seguridad al trabajar con electricidad*. Estados Unidos: DSET, 2007. 287 p.
7. Empresa Eléctrica de Guatemala. *Normas para acometidas de servicio eléctrico*. 14a ed. Guatemala: EEGSA, 2004. 143 p.
8. *Guía para comprador de pararrayos*. Colombia: ABB, 2008. 35 p.

9. HARPER ENRÍQUEZ Gilberto. *Elementos de diseño en subestaciones eléctricas*. México: LIMUSA, 2006. 626 p.
10. *Instalación de interruptores*. Colombia: ABB, 2008. 45 p.
11. MARTÍN, José Raúl. *Diseño de subestaciones eléctricas*. México: McGraw-Hill, 1992. 510 p.
12. Normas de Distribución y Generación Eléctrica. *Especificaciones técnicas para el suministro de materiales y equipos de subestaciones para electrificación rural*. México: NDGE, 2000. 177 p.
13. Producel Ingenieros. *Catálogo equipo de medición, montaje y protección eléctrica*. Colombia: 2008. 30 p.