



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON  
MENCION EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

**TÍTULO:**

**“ESTUDIO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA  
SUBESTACIÓN DE 5 MVA A 69/13.8 KV, A IMPLEMENTARSE EN LA  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL”**

**AUTOR:**

Celi Espinoza José Pablo

**Previa la obtención del Título**

**INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCION EN  
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

**TUTOR:**

**Ing. Hidalgo Aguilar Jaime Rafael**

**Guayaquil, Ecuador**

**2015**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN  
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. José Pablo Celi Espinoza, como requerimiento parcial para la obtención del Título de Ingeniería en Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial.

**TUTOR (A)**

---

**Ing. Hidalgo Aguilar Jaime Rafael**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

**Ing. Heras Sánchez Miguel Armando**

**Guayaquil, a los 20 del mes de Febrero del año 2015**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN  
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, José Pablo Celi Espinoza**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación “ESTUDIO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA SUBESTACIÓN DE 5 MVA A 69/13.8 KV, A IMPLEMENTARSE EN LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL” previa a la obtención del Título de Ingeniería en Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 20 del mes de Febrero del año 2015**

**EL AUTOR**

---

**José Pablo Celi Espinoza**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN  
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

### **AUTORIZACIÓN**

**Yo, José Pablo Celi Espinoza**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “ESTUDIO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA SUBESTACIÓN DE 5 MVA A 69/13.8 KV, A IMPLEMENTARSE EN LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 20 del mes de Febrero del año 2015**

**EL AUTOR**

---

**José Pablo Celi Espinoza**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo especialmente a Dios por la familia que me ha regalado, ya que por medio de ella siento su amor todos los días.

A mis padres y hermanos por darme aliento en los momentos difíciles en cuanto a mi formación espiritual como profesional a lo largo de mi vida.

A mi padre Fabián, por los valores inculcados y el ejemplo de hombre que ha sabido ser, gracias a él y a su esfuerzo he cumplido con metas humanas y profesionales.

A mis Hermanos por su amor y apoyo incondicional al encontrarme lejos de casa.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por tantas alegrías, y bendiciones en mi vida para cumplir con este anhelado sueño.

Agradezco especialmente a mi Padre, ya que todo lo logrado hasta ahora es gracias a su esfuerzo, al tenerme lejos de casa, a la motivación, sabiduría y aliento que siempre me ha sabido compartir.

A mi madre, por sus sabios consejos y por su apoyo en todo el proceso de mi formación académica, espiritual y humana.

A mi tutor el Ing. Rafael Hidalgo A. quien ha sido un profesor y amigo ejemplar a quien le debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza.

A la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICACIÓN .....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3 OBJETIVOS .....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.4 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	4
1.5 HIPÓTESIS .....	5
1.6 METODOLOGÍA .....	5
 <b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO .....</b>	 <b>7</b>
2.1 EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	7
2.2 LA NECESIDAD DE LA PUESTA A TIERRA .....	8
2.3 LA IMPORTANCIA DE LA PUESTA A TIERRA .....	8
2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA .....	9
2.5 TIPOS DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	11
2.5.1. <i>La malla a tierra</i> .....	13
2.6 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA .....	15
2.6.1. <i>Electrodos</i> .....	15
2.6.2. <i>Elementos Conductores</i> .....	15
2.6.3. <i>Elementos aislantes</i> .....	16
2.6.4. <i>Elementos semiconductores</i> .....	17
2.7 IMPEDANCIA A TIERRA .....	18

2.8 EL SUELO .....	18
2.8.1. Resistividad del suelo.....	18
2.8.2. Tipo de suelo .....	20
2.8.3. Humedad.....	21
2.8.4. Minerales y sales disueltos .....	21
2.8.5. Temperatura.....	22
2.8.6. Medidas de resistividad .....	22
2.8.7. Suelo homogéneo o uniforme.....	25
2.8.8. Suelos no homogéneos .....	26
<b>CAPÍTULO 3: PRINCIPALES CONSIDERACIONES DEL DISEÑO.....</b>	<b>28</b>
3.1 CONCEPTO GENERAL .....	28
3.2 ASPECTOS BÁSICOS EN EL DISEÑO DE LA MALLA.....	29
3.3 SELECCIÓN DEL CONDUCTOR Y DE LAS UNIONES.....	32
3.3.1. Consideraciones generales .....	32
3.3.2. Tamaño de los conductores.....	32
3.3.3. Selección de las uniones .....	34
3.3.4. Otras consideraciones del conductor y las uniones.....	36
3.4 ELEMENTOS DE LA MALLA A CONSIDERAR .....	38
3.4.1. Cajas de prueba .....	38
3.4.2. Conexión de los cables de guarda de la malla .....	38
3.4.3. Cables de guarda .....	38
3.4.4. Conexión de elementos metálicos a tierra .....	39
3.4.5. Recubrimiento de triturado .....	39

3.4.6. Varillas de tierra.....	40
3.4.7. Cerco perimetral (malla de cercamiento).....	40
3.4.8. Corrosión galvánica .....	41
3.4.9 Sistema interno de agua potable.....	41

## **CAPITULO 4: CÁLCULO DETALLADO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA ..... 42**

4.1 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CONDUCTORES .....	42
4.2 CÁLCULO DE LA SECCIÓN DEL CONDUCTOR .....	43
4.3 DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES DE MALLA .....	44
4.3.1 Coeficiente de la malla .....	44
4.3.2 Coeficiente de corrección de irregularidad.....	45
4.3.3 Coeficiente de la superficie.....	45
4.3.4 Determinación del coeficiente de cerca.....	46
4.4 DETERMINACIÓN DE VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS .....	46
4.4.1 Tensión de paso.....	46
4.4.2 Tensión de contacto .....	46
4.4.3 Tensión real de paso .....	47
4.4.4 Tensión real de contacto.....	47
4.4.5 Cálculo de la corriente de contacto.....	47
4.4.6 Cálculo de la corriente de contacto que pasa por el cuerpo humano ..	47
4.5 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LA PUESTA A TIERRA:.....	47

## **CAPITULO 5: CONSTRUCCIÓN DE LA MALLA..... 48**

5.1 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA .....	48
--------------------------------------	----

5.2 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DE SUBESTACIÓN DE 5MVA .....	50
5.3 ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO .....	51
5.4 CARACTERÍSTICAS DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO .....	52
5.4.1. <i>Tensión y frecuencia asignadas</i> .....	52
5.4.2. <i>Nivel de aislamiento</i> .....	52
5.4.3. <i>Intensidad de cortocircuito</i> .....	53
5.5 LÍNEA DE ALIMENTACIÓN A 69 KV DE LA SUBESTACIÓN .....	53
5.6 MALLA DE PUESTA A TIERRA .....	55
5.6.1. <i>Características de la malla</i> .....	55
5.7 CONSTRUCCIÓN DE LA MALLA .....	58
<b>CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>59</b>
6.1 CONCLUSIONES .....	59
6.2 RECOMENDACIONES .....	61
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>62</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Electrodo único de conexión a tierra</i> .....	11
Figura 2 <i>Varios electrodos conectados entre sí</i> .....	12
Figura 3 <i>Red de mallas</i> .....	12
Figura 4 <i>Placa de conexión a tierra</i> .....	12
Figura 5 <i>Configuración general de una malla</i> .....	14
Figura 6 <i>Imagen del átomo de un material conductor</i> .....	16
Figura 7 <i>Conductores, semiconductores y aislantes</i> .....	17
Figura 8 <i>Definición de resistividad</i> .....	19
Figura 9 <i>Método de Wenner</i> .....	23
Figura 10 <i>Puntos de medición de resistividad en un terreno rectangular</i> .....	25
Figura 11 <i>Modelo del suelo de dos capas</i> .....	27
Figura 12 <i>Tipos de conexión</i> .....	35

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Resistividades de distintos conductores</i> .....	19
Tabla 2 <i>Resistividades típicas de los suelos</i> .....	20
Tabla 3 <i>Constantes de materiales</i> .....	34
Tabla 4 <i>Características físicas de cables de cobre desnudo, clase B</i> .....	37
Tabla 5 <i>Características del lugar de la subestación</i> .....	50
Tabla 6 <i>Nivel de tensión</i> .....	52
Tabla 7 <i>Nivel de Aislamiento</i> .....	52
Tabla 8 <i>Intensidad de cortocircuito</i> .....	53
Tabla 9 <i>Características del conductor 4/0 ACSR</i> .....	54
Tabla 10 <i>Datos del terreno de la malla de tierra</i> .....	56
Tabla 11 <i>Datos de condiciones de falla</i> .....	56
Tabla 12 <i>Características de la retícula</i> .....	57
Tabla 13 <i>Resultados del diseño de la malla de tierra</i> .....	58

## RESUMEN

En este trabajo investigativo, el lector encontrará el estudio del sistema de puesta a tierra, indicaciones generales, materiales a utilizar y características técnicas de dicho sistema de tierra para una subestación eléctrica que a futuro se construirá dentro del campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, el mismo es realizado con la metodología indicada para esta clase de estudios y tiene como fin ser una guía de aplicación para la correcta construcción del sistema de puesta a tierra.

En el primer capítulo explicaremos la metodología de estudio a aplicar, la hipótesis y resaltaremos la importancia sobre la necesidad del estudio del sistema de puesta a tierra, objetivos que queremos lograr, entre otros puntos de referencia para iniciar el trabajo.

En el segundo capítulo el lector se informará sobre los sistemas de puesta a tierra, sus componentes, funciones, importancia, características generales. Se muestra una comparación entre diferentes sistemas de tierra, para de esta manera indicar cuál sería el más adecuado a implementar en la subestación a construir.

En un tercer capítulo, se vio importante indicar algunos aspectos significativos del diseño de la malla, señalado esto se pretende se aplique al momento de construir el sistema de puesta a tierra.

Se ha dedicado el capítulo cuatro a las indicaciones técnicas acerca de la construcción de la malla, el tipo de conductor a utilizar basándonos en datos de falla provistos por la empresa distribuidora, la dirección que tomará la línea desde el punto de alimentación de 69 KV, niveles de aislamiento correctos, indicaciones acerca de la manipulación de los materiales y su utilización en el sistema etc.

## **ABSTRACT**

In this research work, the reader will find the study of system grounding, general information, materials used and technical features of the system of land for a future power substation which will be built within the campus of the Catholic University of Santiago de Guayaquil, the same is done with the methodology specified for this kind of studies and is intended to be an implementation guide for the correct construction of the system grounding.

In the first chapter we will explain the methodology to apply the hypothesis and highlight the importance of the need for the system grounding study, goals we want to achieve, among other benchmarks to start the job.

In the second chapter the reader is informed about grounding systems, components, functions, importance, and general characteristics. A comparison between different ground systems, thereby indicate what would be the most suitable to be implemented in the substation building displays.

In the third chapter, was important to note some significant aspects of the design of the mesh, pointed this aim is applied when building the system grounding.

Chapter four has been devoted to technical information about the construction of the mesh, the type of conductor to use based on failure data provided by the distribution company, the direction the line is going to take from the point of supply of 69 KV, isolation correct levels, indications and use of the materials handle in the system etc.

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

La Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, con el fin de satisfacer las necesidades de suministro de energía eléctrica de su campus Universitario y para dar solución a los problemas de sobrecarga y desconexión del servicio, ha planificado la construcción de la S/E de 5 MVA, 69/13.8 KV, para lo cual como obra complementaria será necesario el diseño y construcción del sistema de puesta a tierra de dicha subestación, motivo de esta investigación.

Por el nivel de consumo eléctrico y por las continuas desconexiones del servicio eléctrico, a nivel de media tensión en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, se planteó un proyecto preliminar en el lugar para que se dé la futura construcción de una subestación y su línea de enlace a nivel de 69/13.8KV con el objetivo de dar solución a los problemas existentes. El crecimiento y aumento de las instalaciones eléctricas de media tensión sin un estudio o programación previa, tarde o temprano ocasiona problemas cuyas dimensiones son difíciles de administrar. (Camacho Macias, 2014)

La instalación del sistema de puesta a tierra de la S/E es importante, debido a que proporciona la conexión a tierra para el neutro del sistema para los transformadores, constituye la trayectoria de descarga de los pararrayos, garantiza la seguridad del personal de operación y mantenimiento, al limitar las diferencias de potencial que se

puedan presentar, proporciona un medio de descargar y desenergizar equipos; provee una trayectoria de resistencia suficientemente baja a tierra.

### **1.1 Justificación**

La Norma ANSI / IEEE standard 80-2000 “IEEE Guide for Safety in AC Substation grounding” cataloga como esencial la construcción de sistemas de puesta a tierra en las subestaciones, esto debido a dos razones importantes:

- Seguridad del personal que ahí labora y del público en general en cuanto a los residentes de la zona en donde la subestación este ubicada.
- Derivación de voltajes inapropiados para la subestación, manteniendo estabilidad en el voltaje nominal o de operación.

Se busca mantener una diferencia de voltaje baja entre las diferentes estructuras metálicas, con las cuales se pretende resguardar al personal de cualquier choque eléctrico.

Con la implementación del sistema se busca proteger las instalaciones, equipos y bienes en general, contribuyendo a un buen desempeño de los sistemas de protección y su correcta operación.

El sistema de puesta a tierra es de suma importancia en la operación normal de una subestación, con un diseño apropiado, aplicando las normas técnicas correctas en su fase de construcción y con un mantenimiento preventivo este nos brindará:

- Protección contra las descargas atmosféricas en lugares que puedan ocasionar algún accidente.
- Protección de sobretensiones contra los equipos eléctricos.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

Es evidente el constante crecimiento tanto arquitectónicamente como poblacional que la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil ha tenido en los últimos años, esto motivo de su acogida por estudiantes de todo el país quienes han visto a la Universidad como un excelente medio para su etapa de formación profesional, debido a esto el Campus sufre de un subdimensionamiento de las cargas en el sistema eléctrico ya que el diseño inicial ha quedado obsoleto y el constante crecimiento nos obliga a un rediseño del sistema eléctrico. En busca de una solución al problema se ha analizado y la solución más viable es la construcción de su línea y subestación eléctrica de 5MVA 69/13.8KV con la cual se dará solución a los problemas de sobrecarga ya existentes y se pretende satisfacer las necesidades de suministro de energía tanto en calidad y continuidad del servicio, es por esto que se planteó como proyecto hacer el estudio del sistema de puesta a tierra de dicha subestación a construir en el Campus Universitario.

Al realizar el Estudio del Sistema de Puesta a Tierra daremos un paso importante en el proyecto de construcción de dicha subestación, demostrando nuestro apoyo incondicional en los proyectos planteados por los directivos de la institución y a su vez estamos siendo parte del constante crecimiento y evolución de la Universidad en la formación de profesionales.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Realizar el Estudio del Sistema de Puesta a Tierra de la Subestación Eléctrica de 5MVA 69/13.8kV que se construirá en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil la cual constituye parte de la infraestructura de red de distribución

eléctrica en la ciudad de Guayaquil, en acatamiento de las normas y factores técnicos exigidos para su construcción.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Realizar el cálculo de la malla de puesta a tierra y los detalles de construcción.
- Realizar varias mediciones de resistividad del terreno en el sitio de implantación de la subestación, para determinar la resistividad máxima del terreno, valores con los cuales se realizará el dimensionamiento y calculo pertinente.
- Plantear una guía para la construcción del Sistema de Puesta a Tierra, el cual cumpla con normativa técnica y legal vigente referente a las características técnicas de la subestación a construir.
- Determinar las características de función y operación de la malla de puesta a tierra, tomando como objetivo la aplicación de normas de salud y seguridad industrial laboral.

### **1.4 Tipo de investigación**

La presente investigación será de carácter deductiva – analítica. Tomando como referencia que en el método deductivo – analítico que seguiremos será el de observar y analizar el caso a estudiar. Este será dirigido hacia la formación de una problemática con la cual determinaremos los parámetros de construcción a aplicarse.

En el método deductivo- analítico en nuestro caso también contará con un análisis de las variables de construcción estableciendo una comparación entre diferentes tipos

de estudios de sistemas de puesta a tierra, normas, detalles técnicos, pruebas de campo y críticas de expertos en el tema a tratar.

### **Fases del método hipotético-deductivo**

1. Planteamiento del problema
2. Creación de hipótesis
3. Deducciones de consecuencias de la hipótesis
4. Contratación: Refutada o aceptada (viabilidad de su construcción)

### **1.5 Hipótesis**

- Realizando las pruebas correspondientes de resistividad del terreno y en general un excelente trabajo investigativo, se podrá definir fácilmente los parámetros de construcción a seguir para el sistema de puesta a tierra de dicha subestación eléctrica, contribuyendo así en este importante proyecto para la Universidad, el cual solventará a corto y mediano plazo las necesidades eléctricas del campus y todos los problemas ya antes mencionados.

### **1.6 Metodología**

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos propuestos y certificar el cumplimiento de estos se aplicarán métodos de investigación, tanto de campo como de investigación bibliográfica de los cuales extraeremos información relevante, técnicas y estrategias a ser utilizadas en este tipo de estudios y en general

información necesaria que nos permita entregar un estudio acertado en cuanto a las características del terreno y a los dispositivos eléctricos a utilizar.

Se realizará un estudio de campo en el cual se recolectará información acerca del área de construcción, resistividad del terreno y tipo de suelo.

Se realizará una recolección de datos bibliográficos de diferentes fuentes, las cuales nos ayudarán a sustentar la investigación como idónea.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 El sistema de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra es el conjunto de piezas diseñadas de tal manera que estas cumplan con la aplicación de conocimientos científicos y tecnológicos, pero también de conocimientos empíricos comprobados encaminados hacia la eficiente, segura y económica utilización de la tierra como elemento eléctrico para diversos fines.

El sistema de puesta a tierra se ocupa de la eficiente, segura y económica transmisión de corrientes eléctricas, de distinta naturaleza, hacia la tierra en las instalaciones eléctricas en el caso que se produjera una falla en el sistema.

Su importancia reside en garantizar seguridad para las personas, animales y seres vivos en general, que se encuentren en el lugar o en los alrededores de un sistema de puesta a tierra de una infraestructura eléctrica durante una eventual transmisión de corriente hacia tierra.

El factor social (seguridad de los seres vivos) es la preocupación esencial al diseñar cualquier sistema de tierra, ya sea de servicio o de protección. El sistema debe ser proyectado tomando en cuenta las exigencias de seguridad. (MARTINEZ YAÑEZ & VELÁZQUEZ MARTÍNEZ, 2008)

## **2.2 La necesidad de la puesta a tierra**

El sistema de puesta a tierra es necesario para mantener buenos niveles de seguridad del personal, operación de los equipos y desempeño de los mismos.

En los sistemas de potencia la forma en que el sistema se conecta a tierra podría causar un efecto considerable en la magnitud de las tensiones de línea a tierra que deben ser conservados en condiciones normales y bajo condiciones temporales. En sistemas no puestos a tierra, algunas tensiones pueden provocar fallas en el aislamiento de los equipos y sistemas. La puesta a tierra del neutro del sistema permite la operación de sistemas de protección basados en la detección de tensiones que circulan por la misma, despejándose así el circuito bajo falla. (Agulleiro & Martínez Lozano) (González Olguín , 2004)

## **2.3 La importancia de la puesta a tierra**

La puesta a tierra de los equipos se describe como la conexión voluntaria de todas las partes metálicas de los interruptores de potencia, estructuras metálicas, tanque del transformador, seccionadores, tableros, reconectadores, transformadores de potencial y corriente, pararrayos, entre otros, todas las partes deben estar conectadas a la malla de tierra de la S/E. Debe cumplirse con la norma IEEE 80-1976, IEEE Guide for Safety in Substation Grounding. Esto para lograr los siguientes propósitos:

- Mantener una diferencia de tensión baja entre las diferentes estructuras metálicas con la cual buscamos proteger al personal de cualquier choque

eléctrico en el momento de falla de un elemento energizado, por ejemplo, la tensión de dicho elemento tiende a igualarse al del conductor energizado, si el primero no está debidamente conectado a tierra; constituyendo un grave peligro para el personal del área. Esto debe combinarse con buenos relés de protección de falla a tierra.

- Favorecer a un mejor desempeño de los sistemas de protección.
- Previene incendios inducidos por materiales volátiles o por la combustión de gases al proporcionar un camino efectivo y seguro para disipar corrientes de falla, descargas atmosféricas y estáticas y así eliminar los arcos y prominentes temperaturas en los equipos eléctricos, que puedan provocar incendios.
- En los sistemas eléctricos una buena puesta a tierra no sólo salvaguarda la seguridad del personal y proporciona un camino de baja impedancia para las corrientes de falla, además mantiene el mismo nivel de potencial de tierra en todos los dispositivos del sistema, si estos están conectados entre sí a tierra al mismo tiempo.

Estas entre otras son las razones que hacen importante un buen sistema de puesta a tierra. (Agulleiro & Martínez Lozano)

#### **2.4 Clasificación de los sistemas de puesta a tierra**

Se podrían dar varias clasificaciones de sistemas de puesta a tierra, se enunciarán las más universales:

- Puesta a tierra de los equipos eléctricos.- Se emplea en los equipos eléctricos para que las protecciones se activen ya que estas corresponden a tierra, así se elimina la tensión indeseable que colocaría en situación de peligro los equipos eléctricos y la vida misma.
- Puesta a tierra en señales electrónicas.- Cuando los equipos electrónicos manipulan señales o conexiones es común que se utilicen cables de diversas dimensiones, para impedir la contaminación con señales en frecuencias distintas a la deseada se utiliza blindaje, y con cable apantallado esta se aterriza.
- Puesta a tierra de protección electrónica.- Para impedir que se destruyan los elementos semiconductores por tensión, se instalan dispositivos de protección conectados entre los conductores activos y el conductor a tierra.
- Puesta a tierra de protección atmosférica.- Se emplea para canalizar la energía de las descargas atmosféricas a tierra sin daños muy representativos a personas y propiedades. Esto se logra con una malla de tierra la cual igualará la diferencia de potencial existente.
- Puesta a tierra de protección electrostática.- Se emplea para neutralizar las cargas electrostáticas derivadas de los materiales dieléctricos. Esto se logra conectando todas las partes metálicas y dieléctricas a tierra cuyo voltaje siempre será cero. (Rúelas, 2010) (González Olguín , 2004)

## 2.5 Tipos de sistema de puesta a tierra

En un sistema simple de conexión a tierra, se figura un solo electrodo de tierra física instalado en el terreno. El uso de un solo electrodo es la manera más usual de realizar una conexión a tierra física, y puede hallarse fuera de su casa u oficina.

Los sistemas de malla de puesta a tierra están considerados como complejos en relación a un sistema de un único electrodo, la malla de tierra está compuesta de varias varillas de conexión a tierra conectadas entre sí, esta se halla en subestaciones y construcciones eléctricas de gran magnitud.

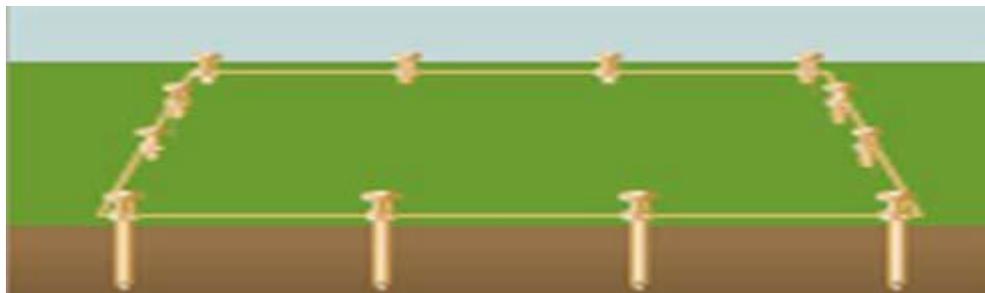
Por lo general las mallas a tierra se instalan en las subestaciones de reducción de tensión, subestaciones de paso y subestaciones de generación. En las redes complejas la resistencia al paso de la corriente hacia la tierra aumenta por esta razón la construcción de la malla se torna más complicada, por tanto se debe mejorar el paso de la corriente a tierra física, por ejemplo se aumenta el número de varillas conectadas entre sí en una conexión en paralelo. (MARTINEZ YAÑEZ & VELÁZQUEZ MARTÍNEZ, 2008)

En las figuras 1, 2, 3 y 4 se muestran los diversos tipos de electrodos de puesta a tierra:



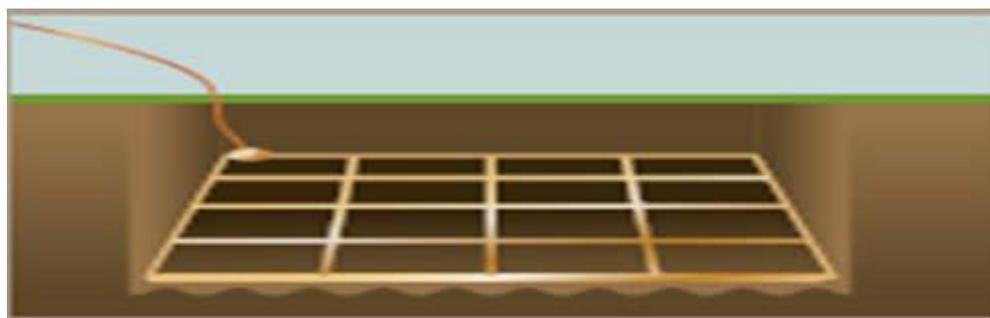
**Figura 1** Electrodo único de conexión a tierra.

**Fuente:** (MARTINEZ YAÑEZ & VELÁZQUEZ MARTÍNEZ, 2008)



**Figura 2** *Varios electrodos conectados entre sí.*

**Fuente:** (MARTINEZ YAÑEZ & VELÁZQUEZ MARTÍNEZ, 2008)



**Figura 3** *Red de mallas.*

**Fuente:** (MARTINEZ YAÑEZ & VELÁZQUEZ MARTÍNEZ, 2008)



**Figura 4** *Placa de conexión a tierra.*

**Fuente:** (MARTINEZ YAÑEZ & VELÁZQUEZ MARTÍNEZ, 2008)

### 2.5.1. La malla a tierra

La malla de conexión a tierra provee la apropiada protección al personal y al equipo que, interna o externamente de la subestación, pueden quedar expuestos a voltajes peligrosos cuando se presentan fallas a tierra en el sistema.

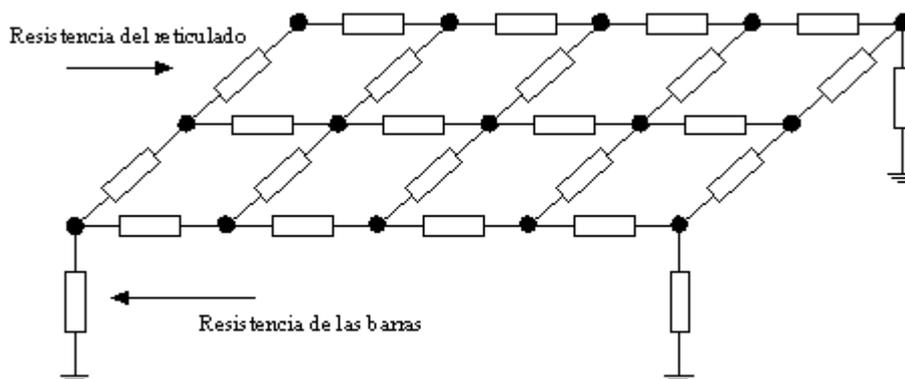
En la malla a tierra se encuentra varios elementos, entre estos conductores desnudos que hacen posible conectar los equipos que integran una instalación a un medio de referencia, en este caso la tierra. Los factores que constituyen la resistencia de la malla a tierra son (Concha):

- Resistencia del conductor que conecta los equipos a la malla de tierra.
- Resistencia de contacto entre la malla y el terreno.
- Resistencia del terreno donde se coloca la malla.

La malla de tierra se compone por varios elementos:

- Una o más barras enterradas.
- Conductores instalados de forma horizontal creando diversas configuraciones.
- Un reticulado instalado horizontalmente que depende su diseño contiene barras conectadas verticalmente en varios puntos de ella (Concha).

En la figura 5 se presenta un bosquejo general de una malla de puesta a tierra.



**Figura 5** Configuración general de una malla.

**Fuente:** (Concha)

A las barras instaladas verticalmente en la construcción de las mallas a tierra se las llama barras copperweld, estas son construidas con alma de acero recubiertas en cobre. La resistencia de una malla a tierra posee valores de resistividad estos entre otros parámetros dependen del terreno. La técnica más común para determinar la resistividad del terreno es la de Schlumberger.

Los objetivos principales de una malla a tierra son:

- Evitar diferencias de potencial peligrosas entre el terreno, equipos y estructuras, en condiciones normales de operación y sobre todo en presencia de cortocircuitos a tierra.
- Prevenir descargas eléctricas que comprometan la seguridad de las personas, durante condiciones normales de operación.
- Proveer el camino más corto posible a tierra para las corrientes inducidas.

Existen dos tipos de mallas en una instalación eléctrica mallas a tierra de alta tensión y baja tensión (Concha).

## **2.6 Elementos de un sistema de puesta a tierra**

### **2.6.1. Electrodo**

Los elementos de mayor referencia en un sistema de puesta a tierra son los electrodos, este es un elemento metálico que puede estar constituido de cobre, acero, fierro, aluminio, etc., por medio de este se introduce la corriente a tierra, los electrodos toman diferentes formas geométricas que podrían ser: semiesférica, (tubos, varillas, etc.), bandas (conductores), placa y anillo.

### **2.6.2. Elementos Conductores**

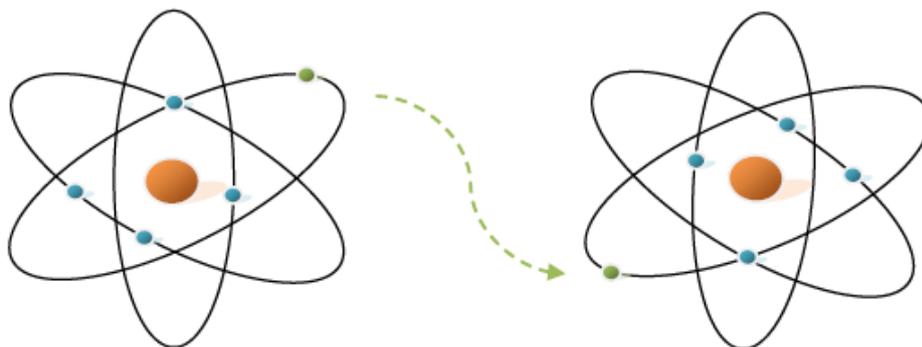
Son elementos muy importantes también los conductores de tierra, que serían los que conectan el dispositivo o elemento a proteger con el electrodo, de igual forma los conductores que unen a varios electrodos para la operación en paralelo, los conectores de unión toman un rol significativo también haciendo factible la unión apropiada entre los diferentes elementos del sistema de tierra. (MARTINEZ YAÑEZ & VELÁZQUEZ MARTÍNEZ, 2008)

Los conductores considerados como de mejor calidad serán los conductores elaborados con materiales que tomando como referencia al átomo tendrán electrones libres en su última órbita. A este tipo de electrones se los conoce como electrones de valencia y son los que permiten el flujo de corriente eléctrica.

Los metales que se caracterizan por su conductividad tienen un número significativo de electrones libres en su última órbita, especialmente el oro, la plata, el cobre, y el aluminio son excelentes conductores de electricidad. El cobre es el más utilizado, ya que además de ser un excelente conductor, no es costoso y puede fácilmente tomar diversas formas permitiendo su uso como alambre, finas capas, etc.,

convirtiéndolo en un material accesible para una gran diversidad de usos, que comprenden desde el cableado eléctrico domiciliario e incluso dispositivos eléctricos muy sofisticados.

A pesar de que el aluminio solamente posee un 60% de la capacidad de conducción del cobre, se suele utilizar sobre todo cuando el peso ligero juega un rol importante como en líneas de transmisión elevadas. Los costos del oro y la plata son demasiado elevados para su uso general; sin embargo, debido al nivel de oxidación muy inferior del oro en cuanto a otros materiales, se utiliza en dispositivos especializados, por ejemplo; conectores eléctricos en dispositivos eléctricos de seguridad, esto nos asegura que los dispositivos de seguridad funcionan cuando sea necesario, ya que la conexión es más confiable en relación a otros materiales.



**Figura 6** Imagen del átomo de un material conductor.

**Fuente:** (DUCHE ZABALA & MIÑAN MANRIQUE, 2013)

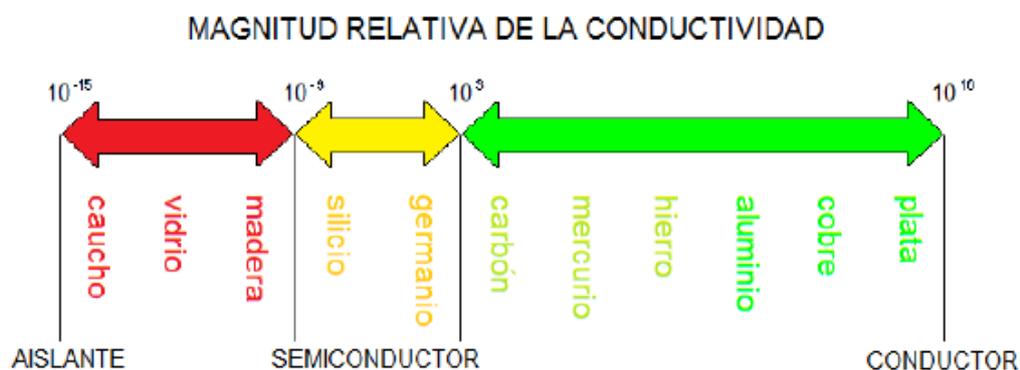
### 2.6.3. Elementos aislantes

Existen materiales que no son conductores de electricidad, por ejemplo la porcelana, madera, vidrio, plástico, y otros más, estos se conocen como aislantes.

Para el recubrimiento de los cables se utiliza material aislante esto evita que se ocasionen choques eléctricos, los aislantes no son conductores debido a que su capa de valencia está llena de electrones, consecuentemente estos están muy unidos entre sí y como resultado no tiene electrones libres; no obstante, cuando se aplica un voltaje muy elevado, la fuerza es de tal magnitud que los electrones se desprenden de sus átomos, ocasionando que el aislante se rompa y que haya conducción. Este fenómeno se presenta en el aire a manera de un arco o chispazo y en los sólidos es normal que el aislante termine quemado.

#### 2.6.4. Elementos semiconductores

Los elementos semiconductores tienen propiedades eléctricas únicas, depende de la temperatura a la que estos estén expuestos se comportarán como conductores o aislantes. Son pocos los elementos que tienen capas de valencia medio llenas por tal razón no son ni buenos conductores ni buenos aislantes esto los hace convenientes y preponderantes en la industria electrónica. (DUCHE ZABALA & MIÑAN MANRIQUE, 2013)



**Figura 7** Conductores, semiconductores y aislantes

**Fuente:** (DUCHE ZABALA & MIÑAN MANRIQUE, 2013)

## **2.7 Impedancia a tierra**

La normativa eléctrica establece como máxima impedancia a tierra un valor de 25 ohmios. A la industria tecnológica y de telecomunicaciones se la obliga a excederse en las exigencias de la normativa eléctrica. Incluso a varios fabricantes de equipos eléctricos se los obliga a registrar un valor de 5 ohmios o menor. En el caso de zonas en donde los rayos son muy frecuentes se aconseja una resistencia de 1 ohmio o menor en los sistemas de puesta a tierra.

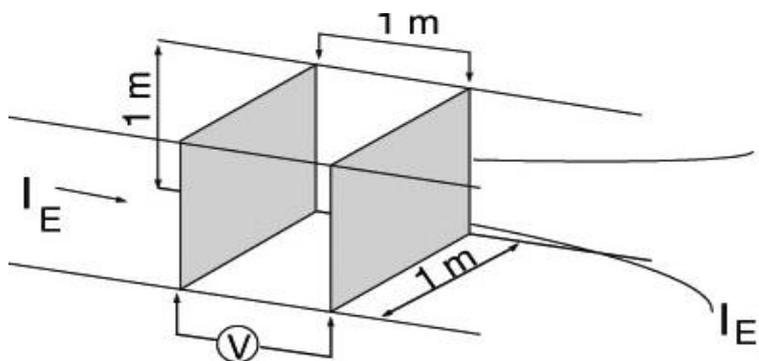
La resistencia del suelo varía de acuerdo a su composición.

En lugares donde la tierra es de arcilla húmeda o arenosa, es primordial tomar acciones necesarias para determinar una baja resistencia a tierra.

## **2.8 El suelo**

### **2.8.1. Resistividad del suelo**

La resistividad es una característica de los materiales que mide su oposición al flujo de corriente eléctrica. La resistividad se define como la tensión medida en los extremos de un cubo de 1m (V/m) dividido por la corriente que atraviesa una sección cuadrada de un cubo de 1 m ( $I/m^2$ ); por lo tanto el resultado es en unidades de ohmios metros. Véase figura 8.



**Figura 8** Definición de resistividad

**Fuente:** Constructor Eléctrico

Se considera que el suelo es un mal conductor si se compara con materiales conductores, como se aprecia en la tabla 1. La resistividad del suelo es determinada por varios factores, los cuales varían de un lugar a otro e inclusive en un mismo terreno se pueden presentar diferentes valores de resistividad; estos factores son: el tipo de suelo, la humedad, los minerales y sales disueltos en el suelo y la temperatura. (Villegas)

**Tabla 1** Resistividades de distintos conductores

Tipo de Conductor	Resistividad ( $\Omega\text{m}$ )
Cobre puro	$1.6 \times 10^{-8}$
Aluminio	$2.7 \times 10^{-8}$
Acero inoxidable	$72 \times 10^{-8}$
Suelos comunes	1 a 10000

**Fuente:** Catálogo de electrocables

### 2.8.2. Tipo de suelo

Existen cuantiosos datos sobre las categorías de resistividad para varios tipos de suelos y rocas; como ejemplo se presenta la tabla 2, donde los estimativos han sido realizados solamente con la clasificación del suelo, esto conlleva a aproximaciones no muy exactas, siendo entonces necesario efectuar medidas de resistividad en los sitios.

Raramente se encuentran suelos que tengan una resistividad uniforme en la totalidad del área de la subestación. En la mayoría de los casos se presentan varias capas, cada una con diferente resistividad. Además ocurren cambios horizontales pero, en comparación con los verticales, son más graduales, por lo tanto, se hacen medidas para determinar variaciones importantes de la resistividad con la profundidad; en general, mientras mayor sea la variación, mayor debe ser el número de medidas a tomar.

**Tabla 2** Resistividades típicas de los suelos

Tipo de suelo	Resistividad ( $\Omega\text{m}$ )
Pirita, galena, magnetita	0,000001 – 0,01
Agua de mar	1
Suelo orgánico	1 – 50
Arcilla	1 – 100
Esquisto (roca foliada, se divide fácilmente en lascas)	10 – 100
Arena o grava	50 – 1000
Arenisca (roca constituida por granos aglutinados por un cementante)	20 – 2000

Piedra caliza, colcita, dolomita	5 – 10000
Cascajo (75% de piedras de 2 cm de diámetro)	3000
Cuarzo, granito, neis (roca compuesta de cuarzo, mica en lentejuelas y feldespatos con estructura en lajas), basalto	1000 - 10000

**Fuente:** (Camacho Macias, 2014)

### 2.8.3. Humedad

La humedad es un factor que afecta recíprocamente la resistividad del suelo: a mayor humedad menor será la resistividad del suelo; en otras palabras, los suelos secos presentan una alta resistividad, mientras que los suelos húmedos presentan una menor resistividad. Por lo tanto, sitios como riveras de ríos y costas marinas pueden presentar una baja resistividad del terreno.

En general, la humedad aumenta con la profundidad. Por otro lado, si el contenido de sales disueltas en el agua es bajo, no siempre una alta humedad en el suelo significa una baja resistividad. (Villegas)

### 2.8.4. Minerales y sales disueltos

La presencia de sales y minerales combinados con el agua permite una mejor conducción de la electricidad (conducción electrolítica) por el suelo.

Suelos dedicados generalmente a la agricultura, por lo general tienen una baja resistividad debido a las sales y a los minerales presentes en el suelo.

### 2.8.5. Temperatura

La resistividad del suelo también es influenciada por la temperatura, la cual afecta de dos formas distintas:

Al aumentar la temperatura, disminuye la humedad del suelo aumentando la resistividad; sin embargo, hay que tener en cuenta que este fenómeno afecta más la superficie del suelo; en las capas interiores del suelo la humedad es más constante.

Por otro lado, la disminución de la temperatura a temperaturas iguales o menores a cero incrementa considerablemente el valor de la resistividad debido a que el agua contenida en el suelo se congela y el hielo es un mal conductor. (Villegas)

### 2.8.6. Medidas de resistividad

En esta sección se analiza la representación del suelo por medio de modelos matemáticos, basados en medidas de resistividad del suelo.

El método más utilizado para medir la resistividad del suelo es el método de las cuatro picas de Wenner, el cual consiste en clavar cuatro varillas enterradas a lo largo de una línea recta, espaciadas uniformemente a una distancia  $a$  y enterradas a una profundidad  $b$ , tal como se ilustra en la figura 9. Las dos varillas externas inyectan una corriente alterna en el suelo  $I$  y las dos varillas internas captan la caída de tensión  $V$ , que ocurre entre ellas debido a la corriente  $I$ . La tensión es dividida por la corriente para dar un valor de resistencia de los electrodos internos  $R$ . La resistividad del suelo se estima con base en la fórmula:

$$\rho = \frac{4\pi a R}{\left(1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right)}$$

Donde:

$\rho$ : resistividad del suelo,  $\Omega\text{m}$

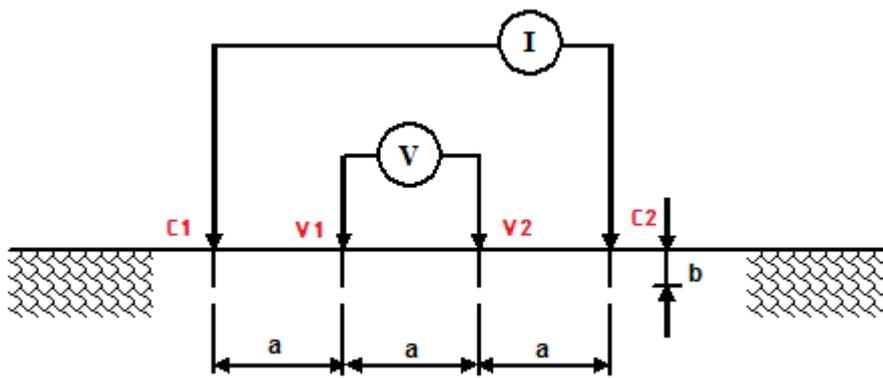
$R$ : resistencia resultante de la medida,  $\Omega$

$a$ : distancia entre electrodos adyacentes, m.

Si  $b$  es pequeño comparado con  $a$  ( $b < a/20$ ), la anterior ecuación puede reducirse

a:

$$\rho = 2\pi a R$$



**Figura 9** Método de Wenner

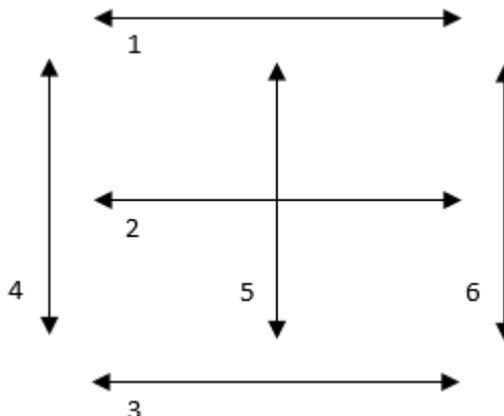
**Fuente:** STP

Cuando se realiza una medición con un determinado valor  $a$  de separación entre varillas, se considera que el valor de resistividad obtenido  $\rho$  corresponde

aproximadamente a la resistividad del suelo a una profundidad del mismo valor de  $a$ . Esto se entiende cuando se recuerda que las superficies equipotenciales son aproximadas por hemisferios; cuanto mayor sea la separación  $a$ , más profundo será el camino predominante de la corriente.

Para determinar la resistividad de un terreno es necesario efectuar varios grupos de mediciones sucesivas debido a las condiciones heterogéneas del terreno. Las medidas deben efectuarse en una forma organizada de tal manera que se logre un cubrimiento total del área sobre la cual va a ser construida la subestación; si es necesaria la repetición de una medida, el sitio deberá ser localizable siquiera en forma aproximada.

Uno de los métodos que se podría emplear consiste en trazar líneas separadas de tal forma que se cubra aproximadamente el ancho del patio en el que se localizan los equipos (se recomiendan 6 líneas, como mínimo). Sobre cada una de las líneas se efectúan mediciones sucesivas a diferente profundidad. Estas medidas se pueden efectuar en diferentes épocas del año (tiempo húmedo y seco) para así tener cálculos más precisos. En la Figura 10 se muestra una sugerencia de distribución de los puntos de medición para un terreno rectangular.



**Figura 10** *Puntos de medición de resistividad en un terreno rectangular*

**Fuente:** Autor

Debido a lo heterogéneo del suelo, es común que se encuentre que los valores de resistividad medidos a una misma profundidad difieren según el sitio de medida, por lo que se hace necesario utilizar un criterio para definir la resistividad. (Villegas)

### **2.8.7. Suelo homogéneo o uniforme**

Algunas veces, aun en suelos con varias capas, la variación de la resistividad aparente del suelo con respecto a la profundidad no es considerable; tales suelos pueden considerarse como homogéneos o uniformes. Sin embargo, es muy difícil formar un criterio para establecer cuándo un suelo es uniforme o no. Como concepto general, un suelo podría ser considerado como uniforme si la diferencia entre dos valores extremos de resistividad aparente es menor del 30%, esto según la norma IEEE Std 80 (2000).

Si se quiere utilizar un modelo de suelo uniforme debido a la simplicidad de la subestación, sólo se promedian los valores de resistividad obtenidos para cada profundidad.

Para subestaciones pequeñas se acostumbra trabajar con el modelo de una capa; en estos casos, se toma la resistividad aparente del suelo  $\rho$  para una profundidad equivalente a la de la profundidad de los electrodos de la malla que, para todo fin práctico, puede ser 2 metros. (Villegas)

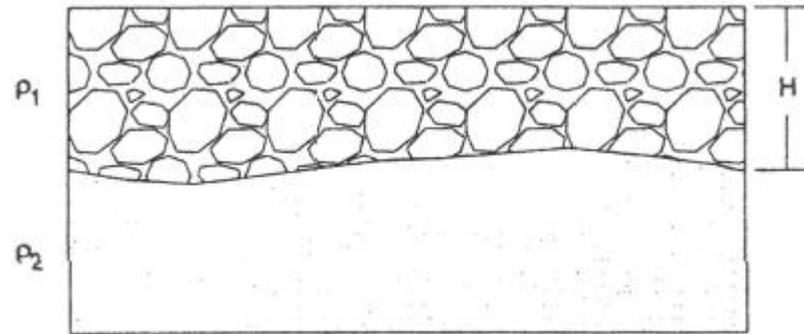
### 2.8.8. Suelos no homogéneos

La representación más precisa de un sistema de tierra debe basarse en la variación real de la resistividad del suelo presente en el sitio de la subestación, pero es poco justificable económicamente e imposible técnicamente modelar todas las variaciones. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la representación de una malla a tierra basada en un modelo equivalente del suelo en dos capas es suficiente para el diseño de un sistema seguro.

Con el modelo de las dos capas el suelo está caracterizado por el espesor de la primera capa  $H$ , la resistividad de la primera capa  $\rho_1$  y la resistividad de la segunda capa  $\rho_2$ , tal como se muestra en la Figura 11. Los cambios bruscos en resistividad en las fronteras de cada capa pueden ser descritos por el factor de reflexión  $K$ , el cual es definido como:

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

Este factor de reflexión varía entre -1 y +1. Un suelo con cambios extremos en la resistividad representa un factor con un valor cercano a la unidad, mientras que un factor de cero o cercano a cero es dado por un suelo uniforme.



**Figura 11** *Modelo del suelo de dos capas*

**Fuente:** (Villegas)

## CAPÍTULO 3

### PRINCIPALES CONSIDERACIONES DEL DISEÑO

#### 3.1 Concepto General

El sistema de puesta a tierra debe ser instalado de manera que limite el efecto de los gradientes de potenciales de tierra a niveles de tensión y corriente para que no pongan en peligro la seguridad de las personas y de los equipos bajo condiciones normales y de falla y para asegurar la continuidad del servicio.

La norma IEEE Std 80 supone que la práctica más común con respecto al diseño del sistema de tierra corresponde a una malla horizontal de conductores enterrados, complementada por un número de varillas verticales conectadas a la malla. Algunas de las razones para usar esta configuración son las siguientes:

- En subestaciones, solamente un electrodo no es adecuado por sí mismo para brindar un sistema de tierra seguro. Por el contrario, cuando varios electrodos, tales como varillas, están interconectados entre ellos y a todos los neutros de los equipos, estructuras y soportes que se quiera aterrizar, el resultado es esencialmente un arreglo en forma de malla, independiente de los objetivos originales. Si sucede que las uniones de conexión entre electrodos están enterradas en un suelo de buena conductividad, esta red por sí sola representa un sistema excelente de puesta a tierra.
- Si la magnitud de la corriente a disipar en la tierra es muy alta, es casi imposible instalar una malla con la resistencia tan baja que asegure que la elevación de potencial de la tierra no vaya a generar diferencias de tensiones

que sean inseguras para el contacto humano. Este peligro puede ser eliminado solamente controlando los potenciales locales a través de toda el área de la subestación, lo cual se logra con una combinación de malla horizontal y varillas verticales. Normalmente, la malla de tierra se entierra a una profundidad entre 0,3 m y 0,5 m y generalmente las capas superficiales de la tierra son de mayor resistividad que las capas más profundas; es esta una razón adicional para utilizar las varillas verticales.

- El uso de varillas trae ventajas adicionales en instalaciones con áreas limitadas, como por ejemplo subestaciones tipo GIS, y en la periferia de las mallas de tierra en donde generalmente se encuentran diferencias de tensiones altas.

### **3.2 Aspectos básicos en el diseño de la malla**

El estudio de una malla de tierra comúnmente empieza con el reconocimiento del terreno en donde la subestación será construida, indicando los equipos principales y estructuras a utilizar. Para formar la idea básica de lo que será el diseño de la malla a tierra, se tomará como referencia los siguientes puntos los cuales nos servirán como guía para empezar el diseño de una malla de puesta a tierra típica.

Se debe instalar un conductor continuo recorriendo el perímetro de la subestación de manera que la subestación este encerrada en su totalidad y se cubra la mayor área posible. Esto nos ayudará a evitar altas concentraciones de corriente y, consecuentemente, altas diferencias de voltaje en el área de la malla cerca de los recorridos finales de los cables de la malla de tierra.

En dicho recorrido perimetral, los conductores se colocarán en líneas paralelas, de preferencia manteniendo la distancia más corta posible hacia las estructuras y equipos.

Una malla típica de una subestación puede estar conformada por conductores de cobre desnudo, enterrado como mínimo entre 0,3 m y 0,5 m bajo la capa de cascajo, con un espaciado determinado formando retículas. En cada punto de cruce, los conductores deben sujetarse segura y apropiadamente.

Las varillas de puesta a tierra pueden colocarse en las esquinas de la malla y en la periferia. Pueden instalarse también adyacentes a los equipos de protección como pararrayos. En suelos de varias capas de resistividad se pueden instalar varillas de varios metros de longitud para poder llegar a la capa de menor resistividad.

La malla debe extenderse sobre la totalidad del área de la subestación y, en ocasiones, por fuera del cerco perimetral. Es usual disminuir la separación de los conductores en la periferia para un menor control de las tensiones de choque. Varios conductores o uno de mayor tamaño deben instalarse en áreas de gran concentración de corriente, como por ejemplo, en los puntos de la puesta a tierra de neutros de transformadores, generadores y bancos de capacitores.

En lugares donde es común la presencia de personal de mantenimiento, como por ejemplo, contiguos a mecanismos de operación de seccionadores, es recomendable instalar una esterilla de tierra.

Las conexiones entre los conductores en paralelo que forman la retícula tienen un efecto parcialmente pequeño en bajar la resistencia de la malla; su función principal es la de controlar las tensiones de choque.

Se proveerá una capa de cascajo de alta resistividad sobre la superficie de toda la subestación. Esta capa puede tener un espesor entre 0,08 m y 0,15 m.

Para ayudar a reducir la resistencia de la malla, se deben conectar los cables de guarda de las líneas de transmisión a la malla.

En áreas en donde la resistividad del terreno es alta o en un área limitada o muy costosa, puede no ser posible obtener una baja resistencia de malla aunque se incremente el número de conductores en paralelo. Algunas soluciones pueden ser:

- Conexiones a mallas de tierra remotas y sistemas de tierra de instalaciones adyacentes. Requiere consideraciones especiales y cuidadosas en lo referente a tensiones transferidas, localización de pararrayos, etc.
- Uso de varillas de puesta a tierra de una longitud considerable o construcción de pozos de tierra en combinación con un tratamiento químico de la tierra.
- Crear mallas satélites en lugares de menor resistividad y conectarlas a la malla principal.
- Utilizar una manta de contrapeso, la cual consiste en una malla construida en retículas de 0,6 m x 0,6 m con conductores de calibre No. 6 AWG (del tipo Allumoweld o similar), instalada por encima de la malla principal a una profundidad entre 0,05 m y 0,15 m de la superficie. Lo anterior para igualar los potenciales cerca de la superficie. (Villegas)

### **3.3 Selección del conductor y de las uniones**

#### **3.3.1. Consideraciones generales**

Cada elemento del sistema de puesta a tierra, incluyendo conductores, uniones, cables de conexión, varillas, etc., debe ser diseñado teniendo en cuenta lo siguiente:

- Tener suficiente conductividad para no crear diferencias de tensiones locales peligrosas.
- Resistencia a la fusión y al deterioro mecánico bajo las condiciones más desfavorables de corriente de falla en cuanto a magnitud y duración.
- Debe ser mecánicamente confiable y fuerte, principalmente en lugares expuestos a corrosión y abuso físico.

El primer requerimiento en cuanto a la alta conductividad es usualmente alcanzado cuando se trata de satisfacer los otros dos requerimientos.

El material más utilizado para los conductores y electrodos de las mallas de tierra es el cobre debido a su alta conductividad y a su resistencia a la corrosión cuando está enterrado, aunque pueda presentar algunos problemas de corrosión galvánica en materiales con algún compuesto de plomo, como las pantallas de los cables de control y fuerza. En algunos países europeos se emplea acero galvanizado para los sistemas de puesta a tierra, teniéndose que prever una protección catódica para evitar la corrosión.

#### **3.3.2. Tamaño de los conductores**

La capacidad de la corriente se calcula mediante la fórmula de Sverak que se muestra a continuación, a través de esta también encontraremos la capacidad de

corriente de cualquier conductor del que se conocen las características del material.

(Véase tabla 3):

$$I = A_T \sqrt{\left[ \frac{\text{TCAP} \times 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r} \right] \ln \left[ \frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a} \right]}$$

Donde:

I: corriente eficaz, kA

$A_c$ : área del conductor, mm<sup>2</sup>

$T_m$ : temperatura máxima permitida, °C

$T_a$ : temperatura ambiente, °C

$T_r$ : temperatura de referencia para el material, °C

$a_0$ : coeficiente térmico de resistividad a 0 °C, 1/°C

$a_r$ : coeficiente térmico de resistividad a la temperatura  $T_r$  1/°C

$\rho_r$ : resistividad del conductor de tierra a la temperatura de referencia  $T_r$   $\mu\Omega\text{cm}$

$K_0$ :  $1/a_0$  ó  $(1/a_r) - T_r$  °C

$t_c$ : tiempo que fluye la corriente, s

TCAP: factor de capacidad térmica, J/ (cm<sup>3</sup>°C). (Villegas)

**Tabla 3** Constantes de materiales

Descripción	Conductividad (%)	$\alpha_r \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ( $1/^\circ\text{C}$ )	$K_{\alpha \pm 0 \text{ }^\circ\text{C}}$ ( $^\circ\text{C}$ )	Temperatura de fusión, $T_m$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\rho_r 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ( $\mu\Omega\text{cm}$ )	Factor TCAP [ $\text{J}/(\text{cm}^3 \text{ }^\circ\text{C})$ ]
Cobre recocido	100	0,00393	234	1083	1,72	3,42
Cobre estirado en frío	97	0,00381	242	1084	1,78	3,42
Acero cobrizado	40	0,00378	245	1084	4,4	3,85
Acero cobrizado	30	0,00378	245	1084	5,86	3,85
Aluminio commercial EC	61	0,00403	228	657	2,86	2,56
Aleación de aluminio 5005	53,5	0,00353	263	652	3,22	2,6
Aleación de aluminio 6201	52,5	0,00347	268	654	3,28	2,6
Acero aluminizado	20,3	0,0036	258	657	8,48	3,58
Acero galvanizado	8,6	0,0032	293	419	20,1	3,93
Acero inoxidable	2,4	0,0013	749	1400	72	4,03

**Fuente:** *Catálogo de electrocables*

### 3.3.3. Selección de las uniones

Los métodos más comunes para efectuar las uniones del sistema de puesta a tierra son la soldadura exotérmica, las abrazaderas y los conectores a presión. Algunas guías para su utilización son: (véase figura 12)

- Si por razones mecánicas, el recocido del conductor es punto de consideración, se debe tener cuidado y no exceder 250 °C, indistintamente del tipo de unión o conexión.
- La temperatura de 450 °C es un valor razonable para conectores del tipo abrazadera.
- Las uniones tipo soldadura exotérmica deberán unir intrínsecamente los conductores de tierra con un molde que posee iguales características de fusión que los conductores, de tal forma que toda la conexión pueda ser tratada como si fuera parte integral de un conductor homogéneo.
- Los conectores de presión pueden ser generalmente de dos tipos: los pernados y los de compresión. Es razonable diseñar estos conectores para un rango entre 250 °C y 350 °C.



a) Conector pernado

b) Soldadura exotérmica

c) Conectores de

compresión

**Figura 12** *Tipos de conexión***Fuente:** (Corporación COESA; Laboratorio UTN)

### 3.3.4. Otras consideraciones del conductor y las uniones

En las primeras versiones de la normas IEEE Std 80 se recomendaban, como mínimo, conductores de cobre 1/0 AWG ( $50 \text{ mm}^2$ ) y 2/0 AWG ( $70 \text{ mm}^2$ ) para uniones con abrazaderas y pernadas, respectivamente. En la última versión se menciona que, según una encuesta internacional, alrededor del 60% de las mallas de tierra están construidas con conductores 4/0 AWG ( $107 \text{ mm}^2$ ); aproximadamente el 17% prefiere utilizar conductores mayores hasta 500kCM.

La norma DIN VDE-0141 (1989) establece que las secciones mínimas de los conductores de la malla de tierra deben ser  $78 \text{ mm}^2$  para acero galvanizado,  $35 \text{ mm}^2$  para cobre redondo y  $60 \text{ mm}^2$  para cobre en platina. Para conductores que conduzcan corrientes a tierra las dimensiones mínimas son:  $50 \text{ mm}^2$  para acero,  $16 \text{ mm}^2$  para cobre y  $35 \text{ mm}^2$  para aluminio. (Véase tabla 4). (Villegas)

Con respecto al tiempo de duración de la corriente de falla se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La mala operación de los relés de protección y equivocaciones de los humanos pueden dar como resultado excesivos tiempos de interrupción. El tiempo en que la protección de respaldo actúa y despeja la falla comúnmente es el apropiado para dimensionar los conductores. En las subestaciones pequeñas el tiempo podría llegar a 3 segundos, sin embargo, en subestaciones de gran tamaño, debido al uso de repetitivos esquemas de protección contra todo tipo de fallas, estas generalmente son despejadas en 1 segundo o menos.
- El valor último de la corriente utilizada para determinar el tamaño del conductor debe tener en cuenta los posibles crecimientos de la subestación.

Es más económico incrementar el tamaño del conductor en el diseño inicial que tratar de reforzar el número de conductores en un tiempo posterior.

Todos los conectores que sean empleados en la mallas de tierra deben satisfacer la norma IEEE Std 837 (1989). (Villegas)

**Tabla 4** Características físicas de cables de cobre desnudo, clase B

Calibre		Sección [mm <sup>2</sup> ]	Núm. de Hilos	Diámetro [mm]
IEC [mm <sup>2</sup> ]	Americana [AWG o kCM]			
35	-	34,4	7	7,5
-	1	42,4	19	8,45
50	-	48,3	19	9
-	1/0	53,5	19	9,45
-	2/0	67,4	19	10,65
70	-	69	19	10,75
-	3/0	85	19	11,95
95	-	93,3	19	12,5
-	4/0	107,2	19	13,4
120	-	119,8	37	14,21
-	250	126,7	37	14,63
150	-	147,1	37	15,75
-	300	152	37	16,03
-	350	177,8	37	17,3
185	-	181,6	37	17,5
-	400	202,7	37	18,48
-	450	228,2	37	19,61
240	-	239,6	37	20,09
-	500	253,4	37	20,65
300	-	299,4	61	22,5

**Fuente:** *Catálogo de electrocables*

### **3.4 Elementos de la malla a considerar**

#### **3.4.1. Cajas de prueba**

Para poder realizar una verificación periódica de la resistencia de la malla, es conveniente construir, por lo menos en dos sitios, cajas de inspección. Estas cajas de inspección permiten la fácil conexión del equipo de medida y se deben ubicar en tal forma que, al efectuar la medida de la resistencia, se facilite una ruta libre de obstáculos y que la medida no se vea influenciada por la misma malla.

#### **3.4.2. Conexión de los cables de guarda de la malla**

Los cables de guarda de las líneas que llegan y salen de la subestación se deben conectar a la malla, pues ellos contribuyen a la disipación de las corrientes de cortocircuito, ayudando a disminuir el tamaño de la red de puesta a tierra. Esta unión debe realizarse de tal manera que se prevea una forma de desconexión para poder efectuar las medidas de resistencia de la malla sin que exista influencia de las torres y del cable de guarda.

#### **3.4.3. Cables de guarda**

El material de los cables de guarda se conectara directamente a la malla de tierra de la subestación tiene una influencia sobre el diseño de la malla. Según el material, los cables de guarda pueden derivar hacia otras subestaciones diferentes a aquella en la cual se produjo la falla, una porción considerable de corriente, contribuyendo en esta forma a disminuir la cantidad de corriente de la malla de tierra. Los cables más efectivos en este sentido son los de aluminio – acero. En sistemas con cables de guarda de acero galvanizado, la corriente que se deriva por ellos desde la subestación donde se presenta la falla alcanza valores mucho menores, lo cual implica que en

estas subestaciones se deben diseñar mallas con distancias entre conductores mucho más pequeñas y, por consiguiente, más costosas.

#### **3.4.4. Conexión de elementos metálicos a tierra**

Además de los cables de guarda, deben conectarse a tierra todos los elementos metálicos de la subestación tanto del patio como del edificio de control. En el patio deben conectarse a tierra todas las estructuras metálicas de equipos, las estructuras de soporte de barras, el acero de refuerzo de obras civiles, los cercos perimetrales en malla eslabonada y los rieles de movilización de transformadores. En el edificio de control se deben conectar a tierra los tableros de equipos, los marcos y puertas metálicas, los pasamanos, etc.

#### **3.4.5. Recubrimiento de triturado**

La resistividad del suelo que se encuentra inmediatamente bajo los pies es de suma importancia en la seguridad de la subestación, tal como se observa en las ecuaciones de tensiones de toque y de paso tolerables; así que, mientras mayor sea esta resistividad, mayor será la seguridad. Por lo general, es necesario recubrir la subestación con una capa de triturado de suficiente espesor.

Al efectuar los cálculos de la malla se puede suponer un valor de  $3000 \Omega\text{m}$  para la resistividad del triturado. Para que esta capa no pierda sus características aisladoras, es necesario mantenerla limpia de malezas y conservar su espesor.

### **3.4.6. Varillas de tierra**

Los electrodos de tierra deben separarse entre sí en una distancia mayor de dos veces la longitud de la varilla; solo de esta manera resultan verdaderamente efectivos y no se ven influenciados unos por otros. De la misma manera, hacia el centro de la malla, las influencias mutuas entre esta y las varillas también resultan de una ineficiente localización de estas últimas; por ellos es recomendable la colocación de varillas hacia la zona periférica o por lo menos cerca de ella. De otra parte, los electrodos resultan más eficaces cuando proporcionan una conexión con capas de suelo profundas de baja resistividad, tal como se encuentra corrientemente en la práctica.

### **3.4.7. Cerco perimetral (malla de cercamiento)**

Si las cercas están localizadas muy vecinas a la malla y, por lo tanto, las alcanza el campo electromagnético en caso de una falla, debe colocarse un conductor igual al de la malla a una distancia de uno o dos metros fuera de la cerca, conectándose eléctricamente a ésta y a la malla de tierra en diferentes puntos.

Si la cerca está localizada fuera de la influencia de la malla de tierra se, colocara entonces un conductor enterrado debajo o a un lado y a lo largo de toda su longitud, unido a ella en varios puntos pero sin conectarlo a la malla de tierra de la subestación.

La consideración de los cercos perimetrales es importante ya que estos son accesibles al público en general y es cerca de la periferia en donde ocurren los potenciales de toque más altos.

Considerando que estos cables no cumplen la función de disipación de corriente en la tierra, sino únicamente de control de las tensiones de seguridad, es posible utilizar un cable de menor calibre al del calculado para la malla de tierra.

#### **3.4.8. Corrosión galvánica**

Un punto que debe ser tenido en cuenta en el diseño de la malla de puesta a tierra es la corrosión galvánica.

Cuando se entierran o se sumergen en un medio electrolito (agua, suelo) dos metales distintos, unidos eléctricamente entre sí, se forma una pila galvánica en la que uno de ellos actúa como ánodo y el otro como cátodo. El que actúa como ánodo ve acelerada su corrosión, mientras que el que actúa como cátodo, recibe protección adicional frente al medio y por tanto, resiste mejor a la corrosión que si no estuviese conectado al otro. Este fenómeno se conoce como corrosión galvánica.

#### **3.4.9 Sistema interno de agua potable**

La tubería metálica de agua debe conectarse a la red de tierra en varios puntos. Si la tubería no es de cobre puede haber corrosión y entonces es preferible aislar las uniones entre la red y la tubería y entre la tubería misma.

## CAPITULO 4

### CÁLCULO DETALLADO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA

#### 4.1 Determinación del número de conductores

El número de conductores principales se determinará con las formulas a continuación en base a lo que se aprecia en el siguiente gráfico.

Nb : Número de conductores en el lado b

Lb: Longitud del conductor del lado b

Lb: distancia entre conductores del lado b

Na : Número de conductores en el lado a

La: Longitud del conductor del lado a

La: distancia entre conductores del lado a

Número de conductores verticales

$$Nb = \frac{Lb}{lb} + 1$$

$$Nb = \frac{21}{3.5} + 1 = 7$$

Número de conductores horizontales

$$Na = \frac{La}{la} + 1$$

$$Na = \frac{10.5}{3.5} + 1 = 4$$

Cálculo del total de conductores Ltot:

$$LTot = Lb * Na + La * Nb = 21 * 4 + 10.5 * 7 = 157.5 m$$

#### 4.2 Cálculo de la sección del conductor

Para el cálculo del calibre del conductor es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$Ac = I \left( \frac{33t}{\log \left( \frac{Tm - Ta}{234 + Ta} + 1 \right)} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Ac=Sección del conductor

I=Corriente máxima de falla (A)

Tm= Temperatura máxima en los nodos. (450°C con soldadura y 250°C con pernos)

Ta=Temperatura ambiente (°C)

t=tiempo de la falla (s)

Si reemplazamos los valores que se obtienen del estudio de cortocircuito obtendremos la sección del conductor de la malla de puesta a tierra. La corriente que

se toma del estudio es la corriente de cortocircuito de falla monofásica, es decir 3131 (A). El tiempo de despeje de falla es el de operación del equipo de interrupción más el tiempo de pick up del relé es decir 0.05 (s).

$$Ac = 3131 \left( \frac{33 (0.05)}{\log \left( \frac{250 - 27}{234 + 27} + 1 \right)} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$Ac = 7.765 \text{ MCM}$$

Al ser este valor muy pequeño se decide tomar el mínimo tamaño que sugiere tomar el mínimo recomendable por el IEEE Std. 80., es decir el 4/0 Awg con sección de 107.6 mm<sup>2</sup> o 211.468 MCM.

### 4.3 Determinación de coeficientes de malla

Km: Coeficiente m

Ki: coeficiente i

Ks: coeficiente

LTot: logitud total del conductor

D: Espaciamiento entre conductores

h: profundidad de enterramiento de la malla

d: diámetro del conductor

#### 4.3.1 Coeficiente de la malla

El coeficiente de malla introduce la influencia de la profundidad de la malla, el diámetro del conductor y el número de conductores de la red.

$$km = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{D^2}{16hd}\right) + \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{3}{4} * \frac{5}{6}\right)$$

$$km = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{3.5^2}{16(0.01431 * 0.6)}\right) + \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{3}{4} * \frac{5}{6}\right) = 0.5651$$

### 4.3.2 Coeficiente de corrección de irregularidad

El coeficiente  $K_i$  introduce en el cálculo, el efecto de la uniformidad de la distribución de la malla.

$$ki = 0.65 + 0.172 Na$$

$$ki = 0.65 + 0.172 * 4 = 1.338$$

### 4.3.3 Coeficiente de la superficie

Introduce el efecto del número de conductores, el espaciamiento entre conductores y la profundidad de la malla para el cálculo de la diferencia de potencial entre dos puntos de la superficie.

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2h} + \frac{1}{La+h} + \frac{\ln(0.655 Nb - 0.3227)}{La} \right)$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2 * 0.6} + \frac{1}{10.5 + 0.6} + \frac{\ln(0.655 * 4 - 0.3227)}{10.5} \right)$$

$$K_s = 0.3191$$

#### 4.3.4 Determinación del coeficiente de cerca

Determina el efecto del número de conductores, el espaciamiento entre conductores y la profundidad de la malla para el cálculo de la diferencia en un punto x fuera de la malla:

$$Kc = \frac{1}{\pi} \ln \frac{(h^2 + x^2)(h^2 + (l^2 + x^2))}{h * d * (h^2 + l^2)} + \frac{1}{\pi} \ln \left( \frac{2l + x}{2l} * \frac{3l + x}{3l} * \frac{4l + x}{4l} * \frac{5l + x}{5l} \right)$$

$$Kc = \frac{1}{\pi} \ln \frac{(0.65^2 + x^2)(0.65^2 + (10.5^2 + x^2))}{0.65 * 3.5 * (0.65^2 + 10.5^2)} + \frac{1}{\pi} \ln \left( \frac{21 + x}{21} * \frac{31.5 + x}{31.5} * \frac{42 + x}{42} * \frac{52.5 + x}{52.5} \right)$$

#### 4.4 Determinación de valores máximos permitidos

##### 4.4.1 Tensión de paso

Es el máximo valor permisible de la diferencia de potencial entre dos puntos de la superficie que pueden tocarse al mismo tiempo.

$$Ep = \frac{116 + 0.7 \rho s}{\sqrt{t}}$$

Donde ps es la resistividad del terreno en (ohms-m)

$$Ep = \frac{116 + 0.7 28}{\sqrt{0.05}} = 606.42 V$$

##### 4.4.2 Tensión de contacto

Es el máximo valor permisible de la diferencia de potencial entre un punto en la superficie del terreno y cualquier otro punto que pueda ser tocado simultáneamente por una persona:

$$E_t = \frac{116 + 0.174\rho s}{\sqrt{t}}$$

$$E_t = \frac{116 + 0.174 * 28}{\sqrt{0.05}} = 540.55 \text{ V}$$

#### 4.4.3 Tensión real de paso

$$E_p = k_s K_i \frac{\rho I}{L_{tot}} = 0.3191 * 1.338 \frac{28 * 3131}{157.5}$$

$$E_p = 246.533 \text{ V}$$

#### 4.4.4 Tensión real de contacto

$$E_t = k_m k_i \frac{\rho I}{L_{tot}} = 0.5651 * 1.338 \frac{28 * 3131}{157.5} = 420.864 \text{ V}$$

#### 4.4.5 Cálculo de la corriente de contacto

$$I_t = \frac{E_t}{1000 + 6 \rho} = \frac{420.864}{1000 + 6 * 28} = 0.36 \text{ A}$$

#### 4.4.6 Cálculo de la corriente de contacto que pasa por el cuerpo humano

$$I_t = \frac{E_p}{1000 + 1.5 \rho} = \frac{246.533}{1000 + 1.5 * 28} = 0.24 \text{ A}$$

#### 4.5 Cálculo de la resistencia de la puesta a tierra:

Se realizará el cálculo de la resistencia utilizando el método de Laurent y Nieman que resulta de una aproximación lineal del cálculo de la resistencia siguiendo la ley de ohm:

$$R_s = 0.443 \rho \left( \frac{1}{\sqrt{A\gamma}} + \frac{1}{L} \right) = 0.443 * 28 * \left( \frac{1}{\sqrt{21 * 10.5}} + \frac{1}{157.5} \right)$$

$$R_s = 0.9141 \text{ Ohms}$$

La resistencia de puesta a tierra está dentro de los límites permitidos.

## **CAPITULO 5**

### **CONSTRUCCIÓN DE LA MALLA**

#### **5.1 Sistema de puesta a tierra**

En el sistema de puesta a tierra que se ha diseñado para la subestación eléctrica se ha tomado en cuenta la normativa establecida por la norma IEEE std80. Se ha hecho el cálculo y diseño de una malla de puesta a tierra que proteja, sea segura y confiable para todo el sistema y dispositivos instalados en el mismo.

El cálculo de la malla de puesta a tierra se realizó tomando como referencia las sugerencias de las normas correspondientes como:

- Los valores sugeridos de resistencia máxima de puesta a tierra por el IEEE std142 para subestaciones de este tipo, es de 1 a 5 ohmios.
- Se deberá instalar conductor de cobre desnudo de calibre No. 4/0 AWG por cuestiones mecánicas de acuerdo a las exigencias de EDG.
- La profundidad de la malla será mayor o igual a 0.5 metros.
- Tensión máxima permisible (tensión de toque, tensión de paso y Potencial máximo de malla) permanecerá a un nivel tal que pueda ser tolerado por el ser humano, evitando perjuicios a la salud. Estos valores serán calculados en base a la norma IEEE std80.

- La malla de puesta tierra se proyectará de tal modo que cubra la zona activa del terreno de la subestación eléctrica en su totalidad, incluido el cerramiento.
- Las uniones entre conductores y electrodos de la malla de puesta a tierra se realizarán por medio de soldadura de tipo exotérmica.
- Se utilizarán chicotes para aterrizar todas las estructuras metálicas, equipos u objetos, que lo requieran.
- En uniones entre hierro-cobre y aluminio-cobre, se utilizarán elementos bimetálicos.
- Se construirán cajas de revisión de hormigón de 40 cm x 40 cm x 60 cm para la inspección de la resistividad y mantenimiento de los electrodos instalados en la malla.

Para realizar las actividades de medición de resistividad en el terreno en el cual se pretende construir la subestación eléctrica, se recurrió a la metodología de Wenner siendo esta la más común para este tipo de trabajos por su eficiencia y su bajo grado de dificultad. Se efectuó con un equipo medidor de tierras marca MEGGER modelo DET4TC.

El valor medido de resistividad del terreno fue de 28  $\Omega$ m.

Se consideró los máximos niveles de falla trifásica a tierra del sistema eléctrico en media y alta tensión.

El cálculo de la malla será elaborado a partir de los lineamientos señalados. (Urriola & Falcones, 2011)

## 5.2 Ubicación y características del sitio de subestación de 5MVA

Según planos preliminares y estudios realizados la subestación se construirá dentro de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil en terreno propio del centro educativo detrás de la Facultad de Arquitectura, en el sector de las cisternas, dicho lugar es estratégico para el dimensionamiento del sistema eléctrico de la Universidad, ya que se pronostica será el área de mayor concentración de carga y la más próxima a la línea de 69 KV más cercana.

El pórtico de 69 KV se ubicará sobre el área Norte de la subestación de tal manera que alimente el transformador de poder y este a su vez alimente las celdas de distribución. Topográficamente se halla en un punto elevado y plano, esto facilitará los trabajos de infraestructura civil. El sitio es de fácil acceso desde una nueva vía que ya consta de una capa de lastre y que a futuro se pavimentará; carretero que se encuentra situado a un lado de la Avenida Carlos Julio Arosemena, en las proximidades del límite con la fábrica Ideal Alambrec.

La subestación se encontrará a una distancia prudente de las aulas de estudio, de esta manera la operación de los equipos, dispositivos eléctricos etc. no causarán molestias de ninguna índole a las personas.

Las características principales del sitio se especifican en la Tabla 5. (Urriola & Falcones, 2011)

**Tabla 5** Características del lugar de la subestación

Altura sobre el nivel del mar	7 m (aproximadamente)
Temperatura mínima	20° C
Temperatura máxima	37° C
Temperatura promedio	27° C
Humedad relativa promedio	75%

Grado de contaminación	moderado
Nivel de descargas atmosféricas	bajo
Características topográficas del terreno	rocoso
Parroquia	Tarqui

**Fuente:** (Urriola & Falcones, 2011)

### 5.3 Análisis de cortocircuito

Es necesario el cálculo de máxima magnitud de la corriente o en otras palabras el nivel de falla del cortocircuito para el dimensionamiento de los equipos y dispositivos de la subestación.

A nivel de alta tensión (69 KV), los datos fueron proporcionados por CNEL EP (Unidad de Negocio Guayaquil), como administradores y propietarios de la línea de subtransmisión.

A nivel de media tensión (13,8 KV), los datos fueron calculados con la impedancia del transformador y grupo de conexión empleando el método de componentes simétricas de Fortescue para el cálculo de fallas.

La magnitud o intensidad del cortocircuito para fallas que se producen se indica en la Tabla 8. Para el cálculo se tomó en consideración una impedancia para el transformador de poder del 7%, que sería el referente promedio que expone un transformador de esa capacidad. (Urriola & Falcones, 2011)

## 5.4 Características del suministro eléctrico

### 5.4.1. Tensión y frecuencia asignadas

La Red de Subtransmisión de CNEL EP tiene una tensión nominal de 69 KV y frecuencia nominal de 60 Hz, por tanto en conformidad con la norma IEEE 1427 se define lo siguiente:

**Tabla 6** Nivel de tensión

Nivel de Tensión	Alta Tensión	Media Tensión
Tensión asignada	69 KV	13,8 KV
Tensión máxima	72,5 KV	15 KV

**Fuente:** Gerencia de Planificación de CNEL EP

### 5.4.2. Nivel de aislamiento

CNEL EP en conjunto con instituciones reguladoras del sector eléctrico ecuatoriano y tomando en cuenta normas internacionales, establece niveles de aislamiento normados para tensiones asignadas a la subestación (véase Tabla 7):

**Tabla 7** Nivel de Aislamiento

Nivel de Tensión	Alta Tensión	Media Tensión
Tensión a frecuencia industrial	140 KV	38 KV

BIL	350 KV	110 KV
-----	--------	--------

**Fuente:** (Urriola & Falcones, 2011)

### 5.4.3. Intensidad de cortocircuito

Para los diferentes tipos de falla del sistema eléctrico planteado a continuación en la Tabla 8 se detalla información referencial.

**Tabla 8** Intensidad de cortocircuito

Nivel de Tensión	Falla LLL	Falla LL	Falla LLG	Falla LG
Alta Tensión 69 KV	8,54 KA	8,09 KA	8,37 KA	5,34 KA
Media Tensión 13,8 KV	3,06 KA	2,65 KA	3,10 KA	3,13 KA

**Fuente:** Gerencia de Planificación de CNEL EP

### 5.5 Línea de alimentación a 69 KV de la subestación

Existe una línea de subtransmisión norte que nace en la subestación Aníbal Santos situada en el salitral, esta línea alimentará y se convertirá en la principal fuente de suministro de energía de la subestación de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Se proyectó realizar una derivación de la línea de subtransmisión de 69 KV antes mencionada desde un poste existente de hormigón sobre el cual se ha tendido, poste que es de propiedad de CNEL EP, Unidad de Negocio Guayaquil. La ramificación se realizará desde el punto en el cual la línea cambia de dirección para introducirse en la Ciudadela Urdesa.

A partir de este poste, se atraviesa el socavón hasta llegar a la parte superior del cerro, en donde se observa una pequeña planicie, en la cual se plantea se construya la subestación de 69 KV.

Para la ramificación de la línea de 69 KV, (derivación del poste ubicado en Urdesa) que alimentará la subestación a partir del sistema de 69 KV de CNEL EP, se define un conductor 4/0 ACSR (véase Tabla 9). (Urriola & Falcones, 2011)

**Tabla 9** Características del conductor 4/0 ACSR

Calibre	4/0 AWG
Tipo	ACSR
Sección	125,1 mm <sup>2</sup>
Diámetro	0,01431 m
Peso unitario	0,4325 Kg/m
Tensión de rotura (Tr)	3820 Kg.
Capacidad de conducción(A)	357 Amperios
Módulo de elasticidad final	8.000 Kg/mm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad inicial	6.500 Kg/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de dilatación	19,2 x 1/1000000 1/°C
Resistencia a 20° C	0,2671 ohmios/Km.
Tensión de todos los días (Teds)	20% .Tr

**Fuente:** Catálogo de electrocables para conductores ACSR

## **5.6 Malla de puesta a tierra**

### **5.6.1. Características de la malla**

La malla del sistema de puesta a tierra se construirá en base a los parámetros detallados a continuación:

- Estará compuesta por un conductor de cobre desnudo de sección transversal de tamaño mínimo  $107,22\text{mm}^2$  (4/0AWG) que se interconectará por medio de soldadura exotérmica.
- La distribución de la malla será rectangular de 21 metros por 10,5 metros, con retículas de 3,5m en promedio, y 8 varillas de cobre de  $5/8'' \times 8'$  que actuarán como electrodos, colocados en el perímetro de la misma, tal como se indica en los planos anexos.
- El conductor que conectará la malla de puesta a tierra con el equipo o los barrajes equipotenciales, debe tener un calibre mínimo de  $67,43\text{mm}^2$  (2/0AWG).
- La malla de puesta a tierra se construirá a una profundidad de 0.6 metros bajo el nivel del terreno.
- La malla de puesta a tierra deberá cubrir toda el área de construcción de la subestación.

A continuación en las Tablas 10, 11 y 12 se detallan los datos del terreno en donde se construirá la malla de tierra, información de condiciones de falla y de características de retícula. (Urriola & Falcones, 2011)

**Tabla 10** *Datos del terreno de la malla de tierra*

Lado Mayor de la Malla	M	21,0 0
Lado Menor de la Malla	M	10,50
Resistividad equivalente del terreno	$\Omega\text{m}$	28,00
Resistividad Capa Superficial	$\Omega\text{m}$	3000, 00
Espesor Capa Superficial	M	0,15
Área de la Malla A	$\text{m}^2$	220, 50
Profundidad de la Malla h	M	0,60

**Fuente:** (Urriola & Falcones, 2011)

**Tabla 11** *Datos de condiciones de falla*

Tiempo de Despeje de la Falla	tfse g	0, 05
Temperatura Máxima de Operación	°C	250, 00
Temperatura Ambiente	°C	27,0 0
Corriente de Falla a TierraIf 69 KV	KA	8,45
Corriente de Falla a TierraIf 13,8 KV	K A	3,1 3

**Fuente:** (Urriola & Falcones, 2011)

**Tabla 12** Características de la retícula

Espacio Entre Conductores Paralelos	Mt s	3,5 0
No. de Conductores Paralelos al Lado Mayor	Un d	4
No. de Conductores Paralelos al Lado Menor	Un d	7
Longitud Total del Conductor de la Malla	Mts	157,5 0
Número de Electrodo	Und	8
Detalle de Electrodo	-	5/8 "x8'

**Fuente:** (Urriola & Falcones, 2011)

A partir del diseño de la malla de puesta a tierra que se ha elaborado obtenemos los datos a continuación presentados en la Tabla 13, estos resultados satisfacen los requerimientos eléctricos y de seguridad de la subestación, adicionalmente cabe

recalcar que dichos valores se ajustan a las condiciones tolerables por el ser humano, aspecto importante y de reseña al elaborar el diseño del sistema de puesta a tierra.

**Tabla 13** Resultados del diseño de la malla de tierra

Resistencia de Puesta a Tierra	0,9141 $\Omega$
Tensión de Toque Tolerable	540.55 V
Tensión de Paso Tolerable	606.42 V

**Fuente:** (Urriola & Falcones, 2011)

La resistencia del paso de corriente a tierra (puesta a tierra) es de 0,9141  $\Omega$ . Este valor se encuentra dentro de los límites de la normativa eléctrica vigente.

### 5.7 Construcción de la malla

Se cavarán zanjas a lo largo del área por donde se tenderá el conductor de cobre desnudo No. 4/0 AWG, se cavará también donde se empotrarán los electrodos de puesta a tierra, quienes se interconectarán entre ellos y se unirán mediante soldadura exotérmica.

Los electrodos que se han considerado en el diseño para la construcción de la malla son de tipo varilla de cobre copperweld, de 5/8" x 8". Los electrodos de puesta a tierra se instalarán (se enterrarán), en los lugares determinados en el diseño ya establecido. Se dejara un sobrante a manera de chicotes, de conductor No. 2/0 AWG de cobre desnudo, que servirá para la interconexión de los equipos y dispositivos con la malla de puesta a tierra.

Se ha previsto la construcción de cajas de prueba, de 40 x 40 x 60 cm distribuidas de acuerdo a lo indicado en el diseño y planos. Estas cajas antes mencionadas servirán para inspección y mantenimiento de los electrodos. (Urriola & Falcones, 2011)

## **CAPITULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Conclusiones**

Una vez culminado el estudio del sistema de puesta a tierra, presentando los términos de referencia en los que debemos basarnos para la construcción de dicho sistema, se establecerán las fases de construcción, operación y mantenimiento del proyecto, tomando como referencia todas las fases de construcción, las cuales en su totalidad conformarían la implementación de la subestación de 5 MVA a 69/13,8 KV, en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, podemos decir:

- En cuanto a la resistividad del terreno se deduce que es de tipo homogéneo por su nivel de resistividad, ya que las mediciones obtenidas están dentro de los valores aceptables, se debe tener en cuenta que la resistividad del terreno, se ve afectada por las características del terreno mencionadas anteriormente clima, altura etc.
- Normativa eléctrica internacional, en cuanto a sistemas de puesta a tierra manifiesta que: el valor de resistencia aceptable es de  $10 \Omega$  en terrenos con baja resistividad; en terrenos con alta resistividad este valor podría llegar hasta  $25 \Omega$ . Por tanto se concluye que, las mediciones de resistencia de los electrodos del sistema de puesta a tierra diseñado cumplen con normativa eléctrica.
- Antes de elaborar el estudio del sistema de puesta a tierra se debe realizar un análisis general del terreno y del área de cubrimiento de la malla. Un estudio preliminar ayudará a conocer la longitud y el calibre del conductor que se extenderá alrededor de la periferia del área de construcción.
- Las mallas de puesta a tierra necesitan grandes áreas de terreno para que sus valores de medición de resistencia sean bajos, mientras más extensa sea el área más eficiente será la malla.
- La magnitud de las tensiones de paso y de contacto obtenidas, son inferiores a los máximos permitidos, por lo tanto se concluye el sistema de puesta a tierra garantiza la seguridad de las personas que laboran y transitan el patio de la subestación según la norma IEEE Std. 80-2000.

## 6.2 Recomendaciones

De llegar a una exitosa implementación de la subestación de 5 MVA a 69/13,8 KV, se sugiere a quienes estén designados para su administración y operación, la aplicación oportuna del plan de mantenimiento de la subestación, y dado el caso, especial importancia al mantenimiento preventivo de la malla de puesta a tierra, así como a las normas de operación de dispositivos, equipos eléctricos y sobre todo de seguridad del personal.

Las acciones y medidas a ejecutar serán:

- Para las mediciones de resistividad se recomienda utilizar el método de Wenner, los resultados de esta metodología se consideran confiables dado el caso en que los electrodos auxiliares estén enterrados a una profundidad entre 20 y 30 cm.
- Cuando se realice la unión entre los elementos de la malla mediante soldadura exotérmica se debe usar los moldes de acuerdo al número del cable y electrodo, confirmar que no se encuentren en mal estado, esto para evitar se fugue por las grietas al momento de formarse el cobre líquido, de esta manera se obtendrá una buena adherencia y se previene se rompa el cable.
- Tomar las medidas de seguridad correspondientes al momento de trabajar con la soldadura exotérmica, usando guantes de cuero para sujetar los moldes inmediatamente después de realizar la conexión exotérmica, ya que por su composición de grafito no se enfrían rápidamente.
- Utilizar equipos de medición digitales para obtener errores menos significativos y reducir contratiempos en las mediciones de resistividad y resistencia.

- El mantenimiento, inspección e intervención de la puesta a tierra debe realizarse periódicamente, con el fin de controlar el valor de resistencia de puesta a tierra, para esto no basta solamente con realizar la medición de la resistencia, también se debe verificar el estado de los electrodos y uniones.
- Para obtener valores más bajos de resistencia de la malla de tierra se recomienda utilizar un mejorador de suelo, en este caso podría ser cualquier tipo de cemento conductor, su instalación resulta fácil, se esparce el polvo seco sobre el conductor, y alrededor del mismo. El cemento conductor absorbe la humedad del suelo adyacente y se endurece para transformarse en un sólido conductor.

### Referencias

- Agulleiro, I., & Martínez Lozano, M. (s.f.). *TÉCNICAS MODERNAS PARA LA MEDICIÓN DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN ZONAS URBANAS*.  
Obtenido de <https://docs.google.com/>:  
[https://docs.google.com/document/d/1sp\\_RpqPDpZZW43UXTe7WbK3Mq4OWk7TDe-Xx1QNoEIE/edit?hl=es](https://docs.google.com/document/d/1sp_RpqPDpZZW43UXTe7WbK3Mq4OWk7TDe-Xx1QNoEIE/edit?hl=es)
- Camacho Macias, J. (Marzo de 2014). *Biblioteca Universidad Catolica de Santiago de Guayaquil*. Obtenido de  
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/123456789/1788/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-22.pdf>

Concha, P. (s.f.). *Universidad del Bío-Bío*. Obtenido de

[http://patricioconcha.ubb.cl/eleduc/public\\_www/capitulo5/mallas\\_de\\_tierra.html](http://patricioconcha.ubb.cl/eleduc/public_www/capitulo5/mallas_de_tierra.html)

DUCHE ZABALA, E., & MIÑAN MANRIQUE, W. (2013). “*DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA ESTACIÓN REPETIDORA EL ALISAL PARA SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES DE MOVISTAR*”.

Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5724/1/UPS-GT000517.pdf>

González Olguín , R. (2004). *Slideshare*. Obtenido de

<http://es.slideshare.net/NicolasBenitez1/subestaciones-electricas-33697164>

MARTINEZ YAÑEZ, J. M., & VELÁZQUEZ MARTÍNEZ, I. (2008).

*APLICACIONES DEL MEDIDOR DIGITAL DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA*. Obtenido de

<http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3573/APLICACIONESMEDIDOR.pdf?sequence=1>

Rúelas, R. (2010). *WordPress.com*. Obtenido de

<http://puestaatierra.wordpress.com/2010/11/01/sistema-de-puesta-a-tierra-clasificacion/>

Urriola, C. I., & Falcones, A. G. (2011). *Diseño de una Subestación Eléctrica de*

*69kv/13.8kv para la Universidad Católica Santiago de Guayaquil*. Guayaquil.

Villegas, M. (s.f.). *Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión/II Edición*.



## GLOSARIO

**Circuito de retorno de tierra:** un circuito en el cual la tierra o un cuerpo conductor equivalente es utilizado para completar el circuito y permitir circulación de corriente desde o hacia su fuente de corriente.

**Corriente de tierra:** una corriente circulando hacia o desde la tierra o su cuerpo equivalente que le sirve de tierra.

**Electrodo auxiliar de tierra:** es un electrodo de tierra con cierto diseño o funcionamiento restringido. Su función primaria consiste en ayudar a conducir la corriente de falla a tierra.

**Electrodo de tierra:** un conductor embebido en la tierra y utilizado para recolectar las corrientes de tierra o disipar corrientes hacia la tierra.

**Elevación del potencial de la tierra – GPR:** es la máxima tensión que la malla de tierra de una instalación puede alcanzar relativa a un punto de tierra distante que se supone que esta al potencial de tierra remoto.

**Esterillas de tierra:** una placa metálica sólida o un sistema de conductores con muy poco espaciamiento, que es conectado y puesto sobre la malla de tierra o en cualquier lugar sobre la superficie para obtener un margen extra de protección y minimizar así el peligro de exposición a altas tensiones de paso y toque en áreas críticas o en lugares de uso frecuente por personas.

**Malla de tierra:** un sistema de electrodos de tierra horizontales que consiste en un número de conductores desnudos interconectados y enterrados en la tierra,

proporcionando una tierra común para dispositivos eléctricos o estructuras metálicas, usualmente en un lugar específico.

**Material superficial:** un material instalado en la superficie del suelo, el cual por lo general tiene un valor de resistividad alto. Comúnmente se emplea material granular, asfalto o materiales artificiales. Esta capa de material afecta perceptiblemente la corriente del cuerpo para las tensiones de toque y de paso.

**Puesto a tierra o aterrizado:** sistemas, circuitos o equipos que están provistos con tierra con el propósito de establecer un circuito de retorno de tierra y mantener su potencial aproximadamente igual al potencial de la tierra

**Sistema de tierra:** comprende todas las facilidades de tierra interconectadas en un área específica.

**Tensión de choque:** comprende las tensiones de toque y paso.

**Tensión de lazo o de retícula:** la máxima tensión de toque encontrada dentro de un lazo o retícula de una malla de puesta a tierra.

**Tensión de paso:** la diferencia de tensión en la superficie, experimentada por una persona con los pies separados a una distancia de un metro y sin estar en contacto con ningún objeto aterrizado.

**Tensión de toque:** la diferencia de tensión entre el GPR y la tensión en la superficie en el punto en donde una persona se para, mientras al mismo tiempo tiene sus manos en contacto con una estructura puesta a tierra.

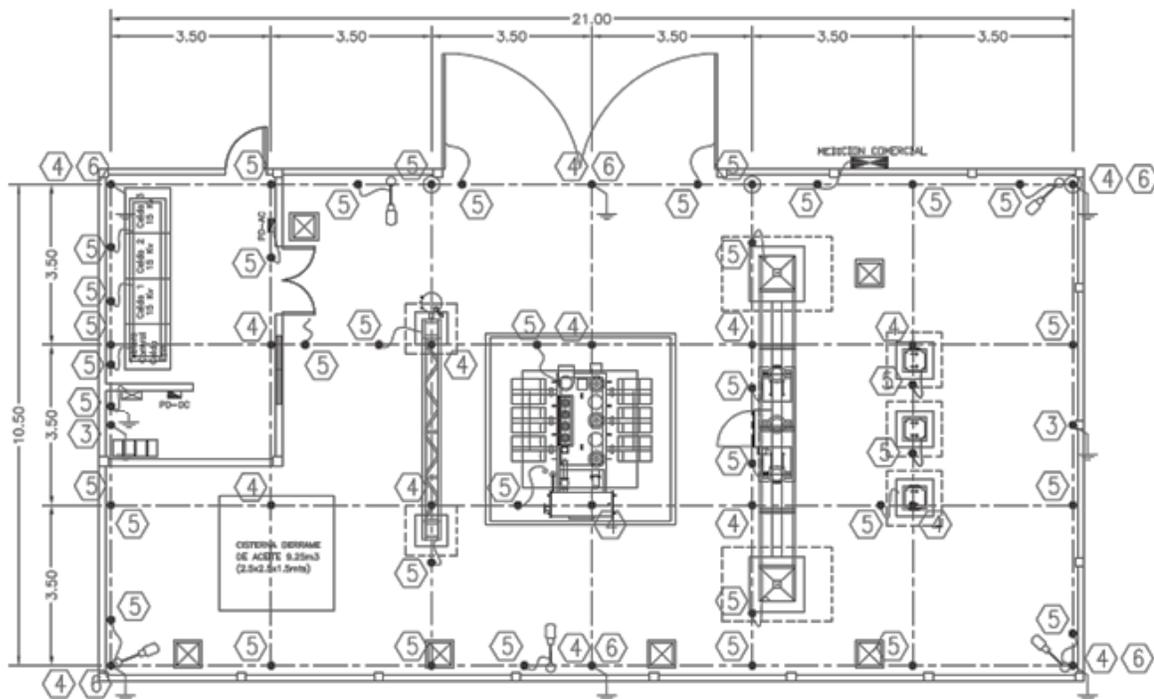
**Tensión transferida:** un especial caso de tensión de toque en donde una tensión es transferida dentro o fuera de una subestación.

**Tierra:** una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por la cual un circuito eléctrico o equipo es conectado a la tierra o a un cuerpo conductor de tamaño relativamente grande que sirve en lugar de la tierra.

## ANEXOS

### FACTORES ADICIONALES DEL DISEÑO

Para conocer el número de electrodos es necesario realizar el dibujo de la malla, el mismo que se observa a continuación:

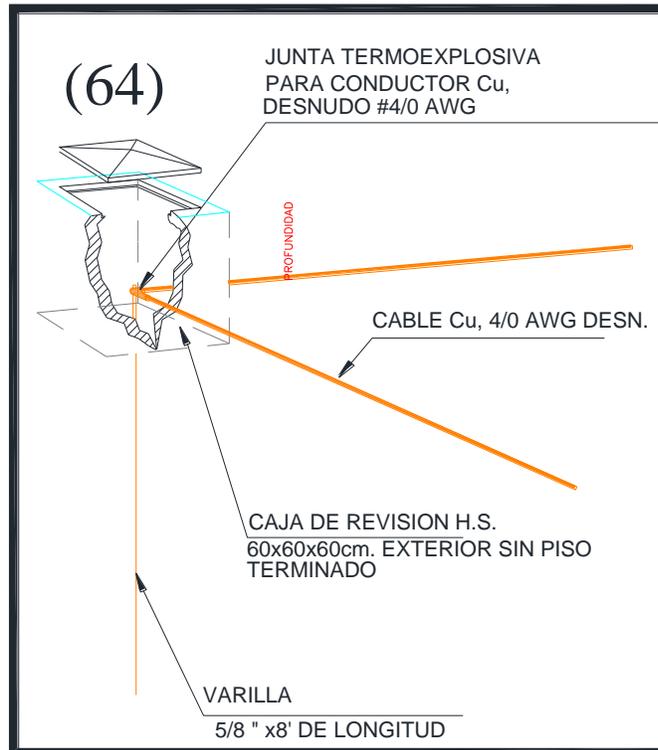


## ANEXOS

### Diseño de la varilla de la caja de revisión de puesta a tierra:

En el plano se puede observar que los puntos de consideración para colocar los electrodos en la malla son las esquinas y los puntos medios, haciendo uniforme la corriente de dispersión de falla a tierra.

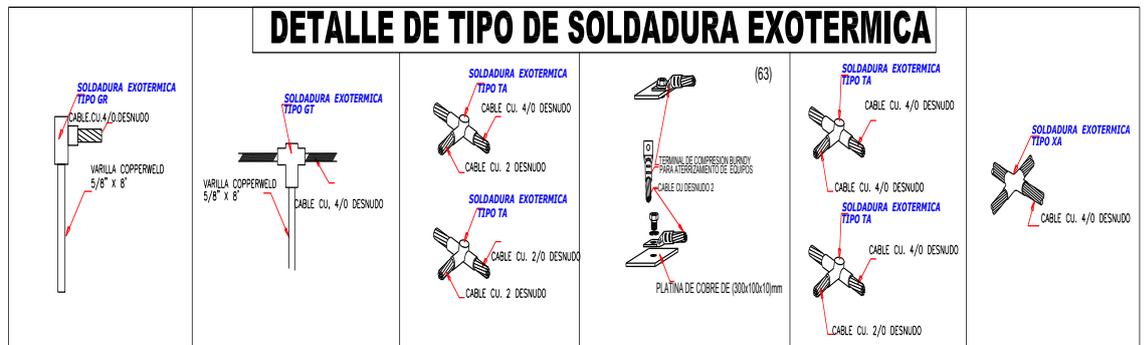
## DETALLE CAJA DE REVISION



## ANEXOS

### Diseño de las Uniones:

El diseño de las uniones se lo hace a partir de la perspectiva superficial de la malla de puesta a tierra. Se lo hará con soldadura exotérmica que enlazará a los conductores de la malla y los electrodos cuando fuera el caso.



## ANEXOS

### Datos de falla proporcionados por CNEL EP Unidad de Negocio Guayaquil

La tabla a continuación presenta los valores de cortocircuito de la línea de 69 KV que alimenta a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, información requerida para establecer el diseño del sistema de puesta a tierra.

Se toma como referencia la subestación de la industria Sí Café por ser el punto más próximo que se alimentan de la línea de subtransmisión de 69 KV

PARÁMETROS DE ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO												
<b>Máxima Generación</b>												
Estudio: SI CAFÉ 69KV												
Hora: Mon Sep 13 13h56m39s 2010												
Potencia de base: 100.00 [MVA]												
Frecuencia fundamental: 60.00 [Hz]												
Cargas incluidas: Sí												
Impedancias del generador: Subtransitorio												
Tensiones pre-falla = Psaf.: Solución del Flujo												
BARRA CON DEFECTO SSICA69												
Zeq(+) = 1.2924 +j 4.0164 (Ohms) 69.0000 kV base 100.0000 MVA base												
Zeq(+) = 0.0271458 +j 0.0843614 (p.u.) X/R = 3.1077												
Zeq(0) = 2.7886 +j 19.1516 (Ohms) 69.0000 kV base 100.0000 MVA base												
Zeq(0) = 0.0585716 +j 0.4022592 (p.u.)												
Barra de falla	Nombre barra	kV Pre falla	Tipo falla	Potencia de falla [MVA]	Ia [kA]	Ia [°]	Ib [kA]	Ib [°]	Ic [kA]	Ic [°]	In [kA]	In [°]
SSICA69	SSICA69	69	LLL	1059,00	9,15	-75,5	9,15	164,5	9,15	44,52	0,00	0,00
SSICA69	SSICA69	69	LG	484,00	4,18	-82,1	0,00	0,00	0,00	0,00	4,18	82,1
SSICA69	SSICA69	69	LL	917,00	0,00	0,00	7,92	165,5	7,92	14,52	0,00	0,00
SSICA69	SSICA69	69	LLG	953,00	0,00	10,2	7,83	175,3	8,23	23,86	2,70	95,9

## ANEXOS

### Características técnicas de los conductores ACSR

Se adjunta el catálogo de conductores ACSR de Electrocables, mencionado en la

Tabla 9.

NOMBRE	CALIBRE AWG-O MCM	SECCION AL mm <sup>2</sup>	SECCION TOTAL mm <sup>2</sup>	DIAMETRO EXTERIOR mm.	PESO TOTAL Kg/Km	TENSION DE RUPTURA Kg	RESISTENCIA C.C. A 20°C ohms/Km.	AMPERAJE Amps	FORMACION No. de hilos por diámetro mm. AL . St
Turkey	6	13,3	15,46	5,04	53,61	530	2,154	105	6x1,68 + 1x1,68
Swan	4	21,15	24,71	6,36	85,31	830	1,353	140	6x2,12 + 1x2,12
Sparrow	2	33,62	29,22	8,01	135,65	1265	0,8507	184	6x2,67 + 1x2,67
Raven	1/0	53,49	62,38	10,11	215,9	1940	0,5351	242	6x3,37 + 1x3,37
Quail	2/0	67,43	78,64	11,34	272,1	2425	0,4245	276	6x3,78 + 1x3,78
Pigeon	3/0	85,01	99,23	12,75	342,9	3030	0,3367	315	6x4,25 + 1x4,25
Penguin	4/0	107,2	125,1	14,31	432,5	3820	0,2671	357	6x4,77 + 1x4,77
Waxwing	266,8	135,2	157,2	15,47	429,8	3210	0,2126	449	18x3,09 + 1x3,09
Partridge	266,8	135,2	142,6	16,28	545,4	5100	0,2117	457	26x2,57 + 7x2,00
Ostrich	300	152	176,7	17,28	612,7	5730	0,19	492	26x2,73 + 7x2,12
Piper	300	152	187,5	17,78	697	7000	0,1902	490	30x2,54 + 7x2,54
Merlin	336,4	170,5	179,9	17,37	542	4060	0,1686	519	18x3,47 + 1x3,47
Linnet	336,4	170,5	198,3	18,31	687,4	6375	0,1671	529	26x2,89 + 7x2,25
Oriole	336,4	170,5	210,3	18,83	781,6	7735	0,1666	535	30x2,69 + 7x2,69
Chickadee	397,5	201,42	212,5	18,87	641,5	4717	0,1427	576	18x3,77 + 1x3,77
Brant	397,5	201,42	227,55	19,61	761,8	6622	0,1418	584	24x3,27 + 7x2,18
Ibis	397,5	201,42	234,2	19,88	811,7	7340	0,1414	587	26x3,14 + 7x2,44
Lark	397,5	201,42	248,4	20,44	923,3	9060	0,1405	594	30x2,92 + 7x2,92
Pelikan	477	241,7	255,1	20,68	770,9	5579	0,1189	646	18x4,14 + 1x4,14

Flicker	477	241,7	273,1	21,48	914,1	7802	0,1175	655	24x3,58 + 7x2,39
Hawk	477	241,7	281,1	21,8	974,9	8820	0,1175	659	26x3,44 + 7x2,68
Hen	477	241,7	298,1	22,4	1108	10590	0,117	666	30x3,20 + 7x3,20
Heron	500	253,3	312,4	22,96	1162	11090	0,1141	694	30x3,28 + 7x3,28
Osprey	556,5	282	298,2	23,22	910,1	6215	0,1015	711	18x4,47 + 1x4,47
Parakeet	556,5	282	318,52	23,22	1066,8	9004	0,101	721	24x3,87 + 7x2,58
Dove	556,5	282	327,9	23,55	1137	10140	0,1007	726	26x3,72 + 7x2,89

Eagle	556,5	282	347,8	24,22	1293	12360	0,1001	734	30x3,46 + 7x3,46
Peacock	605	306,6	346,39	24,21	1159,3	9798	0,0942	760	24x4,03 + 7x2,69
Squab	605	306,6	356,45	24,54	1240,2	10954	0,0941	765	26x3,87 + 7x3,01
Teal	605	306,6	376,45	25,25	1397,4	13630	0,09402	773	30x3,61 + 19x2,16
Rook	636	322,3	364	24,82	1218,7	10274	0,08966	784	24x4,14 + 7x2,76
Grosbeck	636	322,3	374,7	25,15	1299	11340	0,8953	789	26x3,97 + 7x3,09
Egret	636	322,3	395,6	25,9	1466	14330	0,08948	798	30x3,70 + 19x2,22
Flamingo	666,6	337,74	381,55	25,4	1277	10773	0,0855	817	24x4,23 + 7x2,82
Starling	715,5	362,5	421,6	26,68	1462	12750	0,07966	849	26x4,21 + 7x3,28
Redwing	715,5	362,5	445,1	27,43	1648	15690	0,07958	859	30x3,92 + 19x2,35
Drake	795	402,8	468	28,11	1627,4	14290	0,07051	907	26x4,44 + 7x3,45
Mallard	795	402,8	494,7	28,96	1833	17440	0,06977	918	30x4,14 + 19x2,48

## ANEXOS

Bloqueado sobre el nombre Nudo: U\_CATOLICA\_13.8KV

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	KVAR	Pérdidas	FP	Cargabilidad
A	0.000	0.0	0.0	3063.7	24409.6	0.0	-0.0	0.00	-78.60	0.0
B	0.000	0.0	0.0	3063.7	24409.6	0.0	-0.0	0.00	-78.60	0.0
C	0.000	0.0	0.0	3063.7	24409.6	0.0	-0.0	0.00	-78.60	0.0
Perdidas aguas abajo	0.00	2500	Total:	73229	0	-0	0.0	-78.60	0.0	

F C Cg   +   

---

Bloqueado sobre el nombre Nudo: U\_CATOLICA\_13.8KV

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	KVAR	Pérdidas	FP	Cargabilidad
A	1.075	8.6	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0
B	0.000	0.0	0.0	3091.6	24632.4	-0.0	0.0	0.00	-52.49	0.0
C	0.000	8.6	0.0	3106.4	24750.0	0.0	0.0	0.00	49.31	0.0
Perdidas aguas abajo	0.00	2500	Total:	49382	-0	0	0.0	-5.09	0.0	

F C Cg   +   

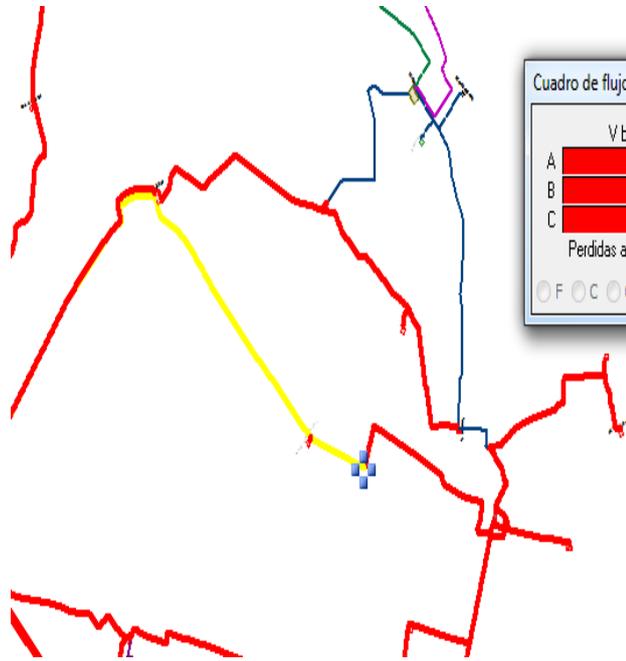
---

Bloqueado sobre el nombre Nudo: U\_CATOLICA\_13.8KV

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	KVAR	Pérdidas	FP	Cargabilidad
A	0.000	8.7	0.0	3131.7	24951.4	0.0	0.0	0.00	10.51	0.0
B	1.091	15.2	8.7	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.00	0.00	0.0
C	1.085	8.6	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0
Perdidas aguas abajo	0.00	2500	Total:	24951	0	0	0.0	10.51	0.0	

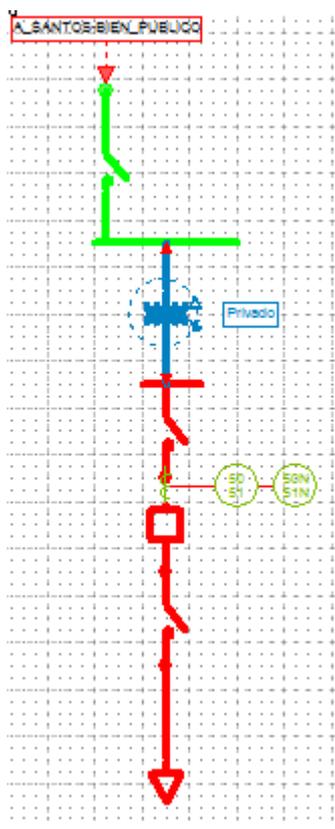
F C Cg   +   

Entrar en vista

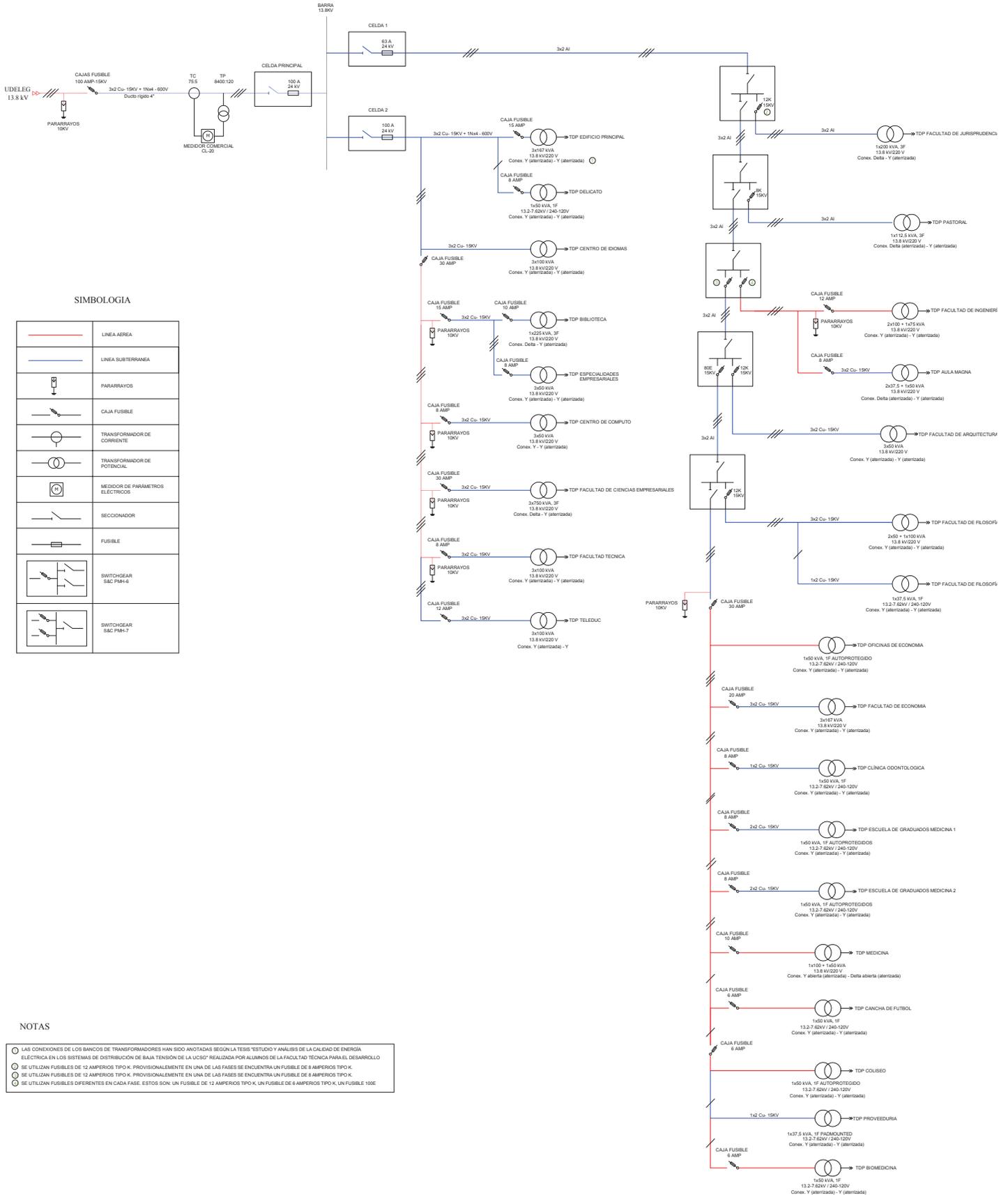


Cuadro de flujo de carga

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR	Pérdidas	FP	Cargabilidad	
A	0.000	0.0	0.0	8545.5	340430.0	-0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	
B	0.000	0.0	0.0	8545.5	340430.0	0.0	-0.0	0.00	0.00	0.0	
C	0.000	0.0	0.0	8545.5	340430.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	
Pérdidas aguas abajo				0.00	0	Total:	1021290	0	0	0.00	0.00



# DIAGRAMA UNIFILAR UCSG A NIVEL DE MEDIA TENSIÓN 13.8KV



### SIMBOLOGIA

	LINEA AEREA
	LINEA SUBTERRANEA
	PARARRAYOS
	CAJA FUSIBLE
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL
	MEDIDOR DE PARAMETROS ELECTRICOS
	SECCIONADOR
	FUSIBLE
	SWITCHEAR S&C P&H-6
	SWITCHEAR S&C P&H-7

### NOTAS

- LAS CONEXIONES DE LOS BANCOS DE TRANSFORMADORES HAN SIDO ANOTADAS SEGUN LA TESIS "ESTUDIO Y ANALISIS DE LA CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE BAJA TENSION DE LA UCSG" REALIZADA POR ALUMNOS DE LA FACULTAD TECNICA PARA EL DESARROLLO
- SE UTILIZAN FUSIBLES DE 12 AMPERIOS TIPO K. PROVISIONALMENTE EN UNA DE LAS FASES SE ENCUENTRA UN FUSIBLE DE 8 AMPERIOS TIPO K.
- SE UTILIZAN FUSIBLES DE 12 AMPERIOS TIPO K. PROVISIONALMENTE EN UNA DE LAS FASES SE ENCUENTRA UN FUSIBLE DE 8 AMPERIOS TIPO K.
- SE UTILIZAN FUSIBLES DIFERENTES EN CADA FASE. ESTOS SON: UN FUSIBLE DE 12 AMPERIOS TIPO K, UN FUSIBLE DE 8 AMPERIOS TIPO K, UN FUSIBLE 100E.

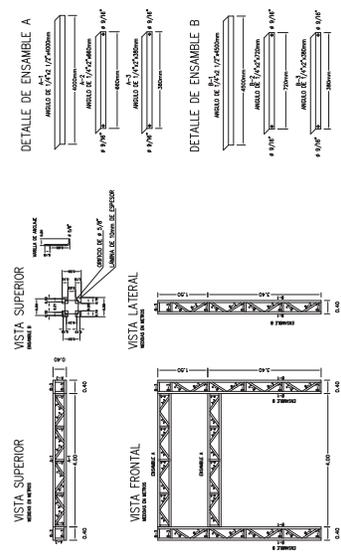
		PROYECTO SUBESTACION 5MVA UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL	PROPIETARIO  UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL	ELABORADO POR CUE/AFA	FECHA MARZO/2010
		CONTENIDO DIAGRAMA UNIFILAR EXISTENTE	APROBADO Y REVISADO POR	APROBADO POR UCSG	REVISION 01
				RESPONSABILIDAD TECNICA	ESCALA 1: 75
					ARCHIVO UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
					LAM.



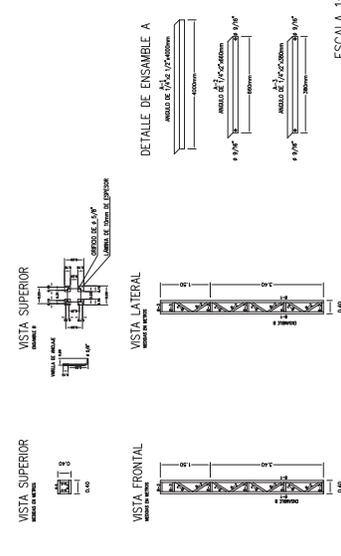




ESTRUCTURA 13,8KV

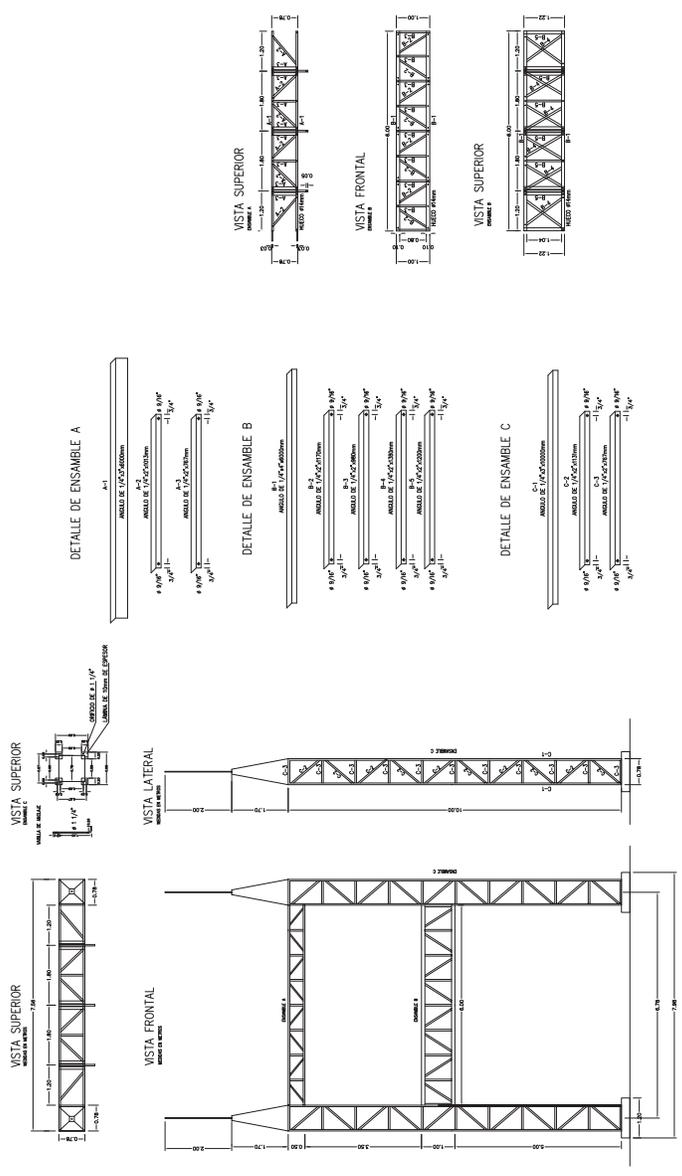


ESTRUCTURA PTs 69KV



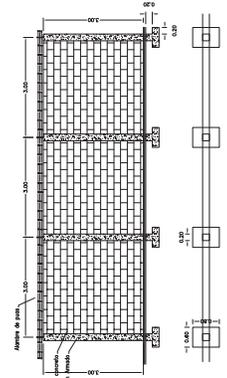
ESCALA 1:75

ESTRUCTURA 69KV

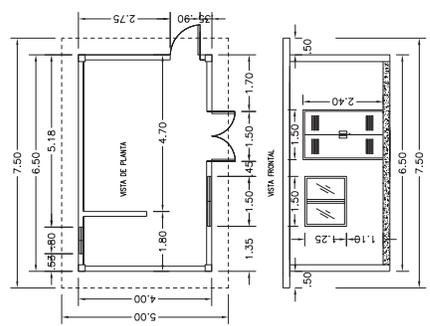


ESCALA 1:75

CERRAMIENTO METALICO  
SUBSTACION UCSC



CUARTO DE CONTROL



ESCALA 1:75

PROYECTO	SUBSTACION SMAVA UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL CONTENIDO	PROPIETARIO	UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL	ELABORADO POR	QUE/IAE/	FECHA	NOVIEMBRE/2010
REVISADO POR	ESTRUCTURAS METALICAS, CUARTO DE CONTROL, CERRAMIENTO	APROBADO Y REVISADO POR	RESPONSABILIDAD TECNICA	APROBADO POR	RESPONSABILIDAD TECNICA	REVISION	00
Rev.	Observación	Fecha	ESTUDIO DE GUAYAQUIL - EGS	FACTURADO TECNICA - USG	ESCALA	1:75	LAM.
							04/05

