



**Estudio de un sistema de puesta a tierra aplicando la normativa eléctrica vigente para  
protección de sistemas eléctricos y de comunicaciones en la Radio Latacunga**

Calvopiña Tipan, Melida Yahaira

Departamento de Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Tecnóloga Superior en

Electromecánica

Ing. Lara Jácome, Óscar Rodrigo

15 de agosto del 2023

Latacunga

## Reporte de verificación de contenidos



tesis puesta a tierra Radio Latacunga...

### Scan details

Scan time:  
August 15th, 2023 at 18:58 UTC

Total Pages:  
60

Total Words:  
14887

### Plagiarism Detection



7.7%

#### Types of plagiarism

Types of plagiarism	Percentage	Words
Identical	1.9%	288
Minor Changes	1.8%	272
Paraphrased	4%	593
Omitted Words	0%	0

### AI Content Detection

N/A

#### Text coverage

- AI text
- Human text

### 🔍 Plagiarism Results: (76)

🌐 **Análisis y rediseño del sistema de puesta a tierra p...** 0.4%

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21178/1/up...>

Guagua Macías Leuy Manuel

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA PORTADA TEMA ANÁLISIS Y REDISEÑO DEL SISTEMA...

🌐 **INSTALAÇÕES ELETROMECÂNICA INSTALAÇÕES ELÉT...** 0.4%

<https://www.doccity.com/pt/instalacoes-eletromecanica-inst...>

Prepare-se para as provas Obter pontos Guias e Dicas Venda Docum...

🌐 **(PDF) NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN - .....** 0.4%

<https://dokumen.tips/documents/norma-ecuatoriana-de-con...>

Trinhduong

...

Ing. Lara Jácome, Oscar Rodrigo

CI: 0502960594

Certified by  
**Copyleaks**

About this report  
[help.copyleaks.com](https://help.copyleaks.com)

[copyleaks.com](https://copyleaks.com)



**Departamento de Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones**

**Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica**

### **Certificación**

Certifico que el trabajo de integración curricular: "Estudio de un sistema de puesta a tierra aplicando la normativa eléctrica vigente para protección de sistemas eléctricos y de comunicaciones en la Radio Latacunga." fue realizada por el señorita **Melida Yahaira, Calvopiña Tipan**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se la sustente públicamente.

Latacunga, 15 de agosto del 2023

Firma

**Ing. Lara Jácome, Óscar Rodrigo**

C. C.: 0502960594



**Departamento de Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones**

**Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **Calvopiña Tipan, Melida Yahaira** con cédula de ciudadanía n° 050365257-0, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **"Estudio de un sistema de puesta a tierra aplicando la normativa eléctrica vigente para protección de sistemas eléctricos y de comunicaciones en la Radio Latacunga."** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 15 de agosto del 2023

Firma

**Calvopiña Tipan, Melida Yahaira**

C.C.: 0503652570



**Departamento de Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones**

**Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica**

**Autorización de Publicación**

Yo **Calvopiña Tipan, Melida Yahaira** con cédula de ciudadanía n° 050365257-0, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Estudio de un sistema de puesta a tierra aplicando la normativa eléctrica vigente para protección de sistemas eléctricos y de comunicaciones en la Radio Latacunga.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 15 de agosto del 2023

Firma

**Calvopiña Tipan, Melida Yahaira**

C.C.: 0503652570

### **Dedicatoria**

Hoy es un día en la que puedo decir que he cumplido uno de mis sueños y la de mi familia, he alcanzado una de las cosas más anheladas en mi vida y quiero compartirlas con las personas que más amo, por eso le dedico a mi mamá por ser mi complemento, fortaleza y amuleto para lograr cumplir esta meta, ella me ha enseñado a ver la vida con ojos de amor y a saber conseguir las cosas con esfuerzo, me ha enseñado el respeto y muchos valores positivos para ser la persona quien soy, mi madre la persona que siempre ha confiado en mí y me ha dado sus ánimos, su apoyo incondicional para poder continuar con mis objetivos, por eso a ella toda mi dedicatoria.

También se la dedico a mi única hermana por ser un ejemplo a seguir, no dudo que es una persona muy amorosa y responsable que siempre ha estado junto a mí guiándome con su sabiduría.

### **Agradecimiento**

Agradezco a mis queridos docentes y de una manera estimada al director de la Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica por su enseñanza y con la paciencia en que han sabido compartir sus conocimientos con cada uno de nosotros.

También agradezco a mi tutor por ser uno de mis representantes quien con su guía ha conseguido dejar una huella de sabiduría.

Finalmente agradezco a esta prestigiosa Universidad de la Fuerzas Armadas por siempre recibarnos con las puertas abiertas, aquí he conocido a personas muy valiosas que realmente han demostrado su apoyo y compañerismo.

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

<b>Carátula .....</b>	<b>1</b>
<b>Reporte de verificación de contenidos.....</b>	<b>2</b>
<b>Certificación .....</b>	<b>3</b>
<b>Responsabilidad de Autoría.....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de Publicación .....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>7</b>
<b>Índice de contenido .....</b>	<b>8</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>12</b>
<b>Índice de tablas.....</b>	<b>15</b>
<b>Índice de ecuaciones.....</b>	<b>16</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>17</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>18</b>
<b>Capítulo I: Tema .....</b>	<b>19</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>19</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>20</b>
<b>Planteamiento del problema .....</b>	<b>21</b>
<b>Justificación.....</b>	<b>23</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>24</b>
<b><i>Objetivo general .....</i></b>	<b>24</b>
<b><i>Objetivos específicos.....</i></b>	<b>24</b>

Alcance .....	24
Capítulo II: Marco teórico .....	26
Sistema de puesta a tierra.....	26
<i>Elementos que constituyen un Sistema de Puesta a Tierra.</i> .....	27
<i>Funciones y objetivos básicos de una instalación de puesta a Tierra</i> .....	32
Tipos de puesta a tierra .....	33
<i>Puesta a tierra de equipos de procesamiento de datos</i> .....	33
<i>Puesta a tierra de potencia</i> .....	33
<i>Puesta a tierra temporales</i> .....	34
<i>Puesta a tierra de protección atmosférica</i> .....	34
Configuración de mallas de puesta a tierra .....	34
<i>Malla de puesta a tierra en triángulo</i> .....	34
<i>Malla de puesta a tierra en T</i> .....	35
<i>Malla de puesta a tierra en L</i> .....	36
<i>Malla de puesta a tierra en cuadrado</i> .....	37
Resistividad del terreno .....	38
<i>Factores que intervienen en la variación de la resistividad del terreno</i> .....	39
Método de medición de la resistividad del terreno.....	40
<i>Método de cuatro puntas o electrodos (Método Wenner)</i> .....	40
<i>Método de Schlumberger</i> .....	41
<i>Método de tres puntos</i> .....	42

<b>Equipos para medir resistividad y resistencia del suelo .....</b>	<b>44</b>
<i>Medidor de Resistencia de Tierra tipo Pinza .....</i>	<i>44</i>
<i>Telurómetro .....</i>	<i>44</i>
<i>Tratamiento del Terreno para mejorar la resistencia de puesta a tierra .....</i>	<i>45</i>
<b>Valores de resistencia de puesta a tierra .....</b>	<b>49</b>
<i>Método de medición de resistencia de puesta a tierra .....</i>	<i>49</i>
<b>Soldadura exotérmica .....</b>	<b>51</b>
<i>Soldadura Cadweld plus .....</i>	<i>52</i>
<i>Procedimiento para soldadura exotérmica.....</i>	<i>54</i>
<b>Parámetros de diseño de puesta a tierra .....</b>	<b>59</b>
<b>Consideraciones de las normativas para la instalación de puestas a tierra. ....</b>	<b>63</b>
<b>Capítulo III: Metodología para el diseño de un sistema de puesta a tierra .....</b>	<b>67</b>
<b>Medición de la resistividad del terreno .....</b>	<b>67</b>
<i>Procedimiento para medir la resistividad del suelo.....</i>	<i>68</i>
<b>Diseño de la Malla de puesta a tierra según la normativa IEEE 80-2000.....</b>	<b>76</b>
<i>Cálculo de los parámetros de la puesta a tierra.....</i>	<i>76</i>
<i>Datos obtenidos del estudio.....</i>	<i>76</i>
<i>Cálculo del calibre del conductor .....</i>	<i>77</i>
<i>Límite de tensión de toque y de paso.....</i>	<i>82</i>
<i>Diseño de malla .....</i>	<i>83</i>
<i>Cálculo de resistencia de la malla de puesta a tierra (Rg) .....</i>	<i>87</i>

<b>Elaboración de planos para la construcción de la malla de puesta a tierra .....</b>	<b>91</b>
<b><i>Presupuesto referencial para la construcción de la Malla de puesta a tierra. .</i></b>	<b>93</b>
<b>Capitulo IV: Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>94</b>
<b>    Conclusiones .....</b>	<b>94</b>
<b>    Recomendaciones .....</b>	<b>95</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>96</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>98</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<i>Ubicación de radio Latacunga</i> .....	21
<b>Figura 2</b>	<i>Cámara de transformación existente</i> .....	22
<b>Figura 3</b>	<i>Placa de características del transformador instalado</i> .....	22
<b>Figura 4</b>	<i>Objetivos de un Sistema de Puesta a Tierra (SPAT)</i> .....	26
<b>Figura 5</b>	<i>Elementos de un SPAT</i> .....	27
<b>Figura 6</b>	<i>Varilla Copperweld</i> .....	29
<b>Figura 7</b>	<i>Electrodo activo</i> .....	30
<b>Figura 8</b>	<i>Electrodo de grafito</i> .....	30
<b>Figura 9</b>	<i>Borne de puesta a tierra</i> .....	31
<b>Figura 10</b>	<i>Conductor del electrodo de tierra</i> .....	31
<b>Figura 11</b>	<i>Tierra de seguridad</i> .....	32
<b>Figura 12</b>	<i>Malla de puesta a tierra en triangulo</i> .....	35
<b>Figura 13</b>	<i>Malla de puesta a tierra en T</i> .....	36
<b>Figura 14</b>	<i>Malla de puesta a tierra en L</i> .....	37
<b>Figura 15</b>	<i>Malla de puesta a tierra cuadrada</i> .....	38
<b>Figura 16</b>	<i>Ilustración método de Wenner</i> .....	41
<b>Figura 17</b>	<i>Método de Schlumberger</i> .....	42
<b>Figura 18</b>	<i>Ilustración método de tres puntos</i> .....	43
<b>Figura 19</b>	<i>Medidor tipo pinza</i> .....	44
<b>Figura 20</b>	<i>Telurómetro</i> .....	45
<b>Figura 21</b>	<i>Tratamiento de un terreno con sal</i> .....	46
<b>Figura 22</b>	<i>Productos para mejorar la resistividad del suelo</i> .....	47
<b>Figura 23</b>	<i>Configuración del Método del 62%</i> .....	50
<b>Figura 24</b>	<i>Tipos de uniones en soldadura exotérmica</i> .....	51
<b>Figura 25</b>	<i>Componentes de la soldadura Cadweld plus</i> .....	52

<b>Figura 26</b>	<i>Cápsula de soldadura</i> .....	53
<b>Figura 27</b>	<i>Cadweld plus para SPAT</i> .....	53
<b>Figura 28</b>	<i>Limpieza de conductor</i> .....	54
<b>Figura 29</b>	<i>Calentamiento del molde de grafito</i> .....	55
<b>Figura 30</b>	<i>Molde de grafito y conductores</i> .....	55
<b>Figura 31</b>	<i>Colocación de pastilla de soldadura exotérmica</i> .....	56
<b>Figura 32</b>	<i>Colocación del indicador electrónico</i> .....	56
<b>Figura 33</b>	<i>Equipo de encendido electrónico</i> .....	57
<b>Figura 34</b>	<i>Conexión del encendedor electrónico y el molde</i> .....	58
<b>Figura 35</b>	<i>Suelda exotérmica realizada</i> .....	59
<b>Figura 36</b>	<i>Metodología para el diseño de puesta a tierra</i> .....	67
<b>Figura 37</b>	<i>Medidor de resistencia de tierra y resistividad, Marca METREL, modelo MI 3121</i> ..	68
<b>Figura 38</b>	<i>Ubicación de puesta a tierra</i> .....	68
<b>Figura 39</b>	<i>Área de puesta a tierra</i> .....	69
<b>Figura 40</b>	<i>Plano de toma de muestras para medición de la resistividad</i> .....	69
<b>Figura 41</b>	<i>Diagrama del método de Wenner</i> .....	70
<b>Figura 42</b>	<i>Colocación de Picas</i> .....	71
<b>Figura 43</b>	<i>Medición de la muestra 1 a 1m</i> .....	72
<b>Figura 44</b>	<i>Medición de la muestra 2 a 1m</i> .....	72
<b>Figura 45</b>	<i>Medición de la muestra 3 a 1m</i> .....	73
<b>Figura 46</b>	<i>Medición de la muestra 4 a 1m</i> .....	73
<b>Figura 47</b>	<i>Medición de la muestra 1 a 2m</i> .....	74
<b>Figura 48</b>	<i>Medición de la muestra 2 a 2m</i> .....	74
<b>Figura 49</b>	<i>Medición de la muestra 3 a 2m</i> .....	75
<b>Figura 50</b>	<i>Medición de la muestra 4 a 2m</i> .....	75
<b>Figura 51</b>	<i>Ingreso de Datos de dimensiones de la malla en ETAP 19</i> .....	83

<b>Figura 52</b> <i>Ingreso de datos de electrodos de la malla en ETAP 19</i> .....	84
<b>Figura 53</b> <i>Ingreso de datos de resistividad del terreno en ETAP 19</i> .....	84
<b>Figura 54</b> <i>Diseño de malla de puesta a tierra en el programa ETAP 19</i> .....	85
<b>Figura 55</b> <i>Configuración de malla de puesta a tierra proyectada</i> .....	85
<b>Figura 56</b> <i>Plano de malla de puesta a tierra proyectada</i> .....	91
<b>Figura 57</b> <i>Plano de malla de puesta a tierra</i> .....	92

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> <i>Requisitos para electrodos de puesta a tierra.</i> .....	28
<b>Tabla 2</b> <i>Resistividad del terreno por su naturaleza.</i> .....	39
<b>Tabla 3</b> <i>Valores de resistencia de puesta a tierra.</i> .....	49
<b>Tabla 4</b> <i>Índice de parámetros de diseño.</i> .....	59
<b>Tabla 5</b> <i>Valores de resistividad del terreno.</i> .....	76
<b>Tabla 6</b> <i>Datos de placa del transformador.</i> .....	76
<b>Tabla 7</b> <i>Constantes para los materiales de conductores.</i> .....	80
<b>Tabla 8</b> <i>Conductor de puesta a tierra.</i> .....	82
<b>Tabla 9</b> <i>Presupuesto referencial.</i> .....	93

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b> Resistividad del terreno .....	40
<b>Ecuación 2</b> Resistividad método Schlumberger .....	42
<b>Ecuación 3</b> Resistividad por el método de los 3 puntos. ....	43
<b>Ecuación 4</b> Corriente del secundario .....	78
<b>Ecuación 5</b> Corriente de cortocircuito máxima del secundario. ....	78
<b>Ecuación 6</b> Corriente de cortocircuito asimétrica. ....	79
<b>Ecuación 7</b> Corriente máxima de cortocircuito del primario. ....	79
<b>Ecuación 8</b> Calibre del conductor de la malla de tierra.....	81
<b>Ecuación 9</b> Voltaje de paso tolerable. ....	82
<b>Ecuación 10</b> Voltaje de toque tolerable. ....	83
<b>Ecuación 11</b> Longitud de los conductores. ....	86
<b>Ecuación 12</b> Longitud total de la malla.....	86
<b>Ecuación 13</b> Resistencia de puesta a tierra .....	87
<b>Ecuación 14</b> Resistencia de tierra de la malla.....	87
<b>Ecuación 15</b> Coeficiente K1 calculado por la ecuación de Kerckel. ....	88
<b>Ecuación 16</b> Coeficiente K2 calculado por la ecuación de Kerckel. ....	88
<b>Ecuación 17</b> Resistencia de las varillas de tierra. ....	89
<b>Ecuación 18</b> Resistencia de tierra mutua entre la malla y las varillas.....	89

## Resumen

El Estudio se desarrolló en las instalaciones de Radio Latacunga, al realizar la inspección se pudo constatar que existen varillas de cobre que están instaladas en puntos específicos de la radio para poder enlazar el sistema eléctrico a tierra, pero no existe una puesta de tierra que cumpla con los parámetros indicados para el correcto funcionamiento del sistema eléctrico, ya que los valores obtenidos de resistencia son muy superiores a  $5 \Omega$ . En este estudio actual, se llevó a cabo la medición de la resistividad del suelo con el propósito de calcular el tamaño adecuado para una conexión a tierra, de acuerdo con las reglas actuales (donde se busca que la resistencia sea igual o menor a  $5\Omega$ ). Se elaboró un plano que muestra la posición y el diseño de la red de conexión a tierra planificada. Además, se confirmó la información a través de una hoja técnica que proporciona los detalles necesarios para establecer el sistema de conexión a tierra de manera efectiva. El presente proyecto contribuye al mejoramiento del sistema eléctrico y electrónico de la radio, así como a la protección del personal y los equipos con los que cuenta la radio, realizando un estudio de acorde a las necesidades de Radio Latacunga optimizando el espacio y los recursos.

*Palabras Clave:* Puesta a tierra, Radio Latacunga, sistema eléctrico.

### **Abstract**

The study was carried out in the facilities of Radio Latacunga, during the inspection it was found that there are copper rods that are installed at specific points of the radio to link the electrical system to ground, but there is no grounding that meets the parameters indicated for the proper functioning of the electrical system, since the resistance values obtained are much higher than  $5\ \Omega$ . In this current study, soil resistivity measurement was carried out for the purpose of calculating the appropriate size for a grounding connection, according to current rules (where resistance is sought to be equal to or less than  $5\ \Omega$ ). A plan was prepared showing the position and layout of the planned grounding network. In addition, the information was confirmed through a technical sheet that provides the necessary details to establish the grounding system effectively. This project contributes to the improvement of the electrical and electronic system of the radio, as well as to the protection of the personnel and equipment of the radio station, carrying out a study according to the needs of Radio Latacunga, optimizing space and resources.

*Key words:* Grounding, Radio Latacunga, electrical system.

## Capítulo I

### Tema

Estudio de un sistema de puesta a tierra aplicando la normativa eléctrica vigente para protección de sistemas eléctricos y de comunicaciones en la Radio Latacunga

#### Introducción

En toda instalación eléctrica es imprescindible la protección de la integridad de los usuarios que utilizaran la misma, así como asegurar la protección de los equipos eléctricos y electrónicos instalados en el sistema. Es necesario la implementación de sistemas de protección adecuados, ya sea que se requiera de instalaciones para alimentar aparatos eléctricos, electrónicos delicados ante una posible falla, por lo que es fundamental el uso de protecciones contra fallas de aislamiento que producen tensiones por contacto indirecto.

La tensión generada por el contacto indirecto surge en una estructura de metal cuando un conductor que transporta electricidad, sin estar aislado, entra en contacto con dicha estructura, electrificándola en el proceso. Para contrarrestar los posibles impactos de este tipo de contacto, es necesario que la instalación disponga de un mecanismo de seguridad adecuado. En este contexto, se emplea un sistema de conexión a tierra cuyo tamaño debe ajustarse según las directrices establecidas por las normativas correspondientes.

El propósito de los sistemas de conexión a tierra es restringir el voltaje que los elementos metálicos pueden mostrar con respecto al suelo en cualquier momento. Esto se convierte en un método de protección destinado a resguardar a las personas que podrían estar en proximidad de estos componentes. Adicionalmente, previene la emergencia de diferencias de potencial perjudiciales y simultáneamente facilita la disipación de corrientes de fallo o descargas atmosféricas hacia el suelo.

La eficacia de la función de protección es preservar tanto la seguridad de las personas como la integridad de los equipos integrados en este sistema eléctrico, se basa en la precisión del análisis y la apropiada concepción de un plan de conexión a tierra. Este plan debe ser

elaborado en conformidad con las directrices actuales para garantizar su éxito en la realización de su propósito.

### **Antecedentes**

Actualmente existe una normativa para poder realizar el estudio y la construcción de una puesta a tierra, esto con la finalidad de salvaguardar la vida de las personas, minimizar el deterioro de la vida útil de los equipos eléctricos y electrónicos.

Experiencias como la de Byron Patricio Zapata Jiménez (2012) Latacunga, con su trabajo de investigación cuyo tema es: "Rediseño y optimización de los sistemas de puesta a tierra y apantallamientos de la escuela politécnica del ejército campus Sangolquí." Se demuestra que un apropiado sistema de puesta a tierra, es de gran provecho se puede evitar pérdidas humanas, pérdidas materiales e interferencias entre edificaciones.

Se determinó que al realizar mediciones de la resistividad del suelo se alcanzó un valor máximo de  $31.31 \Omega m$ , el cual representa una resistividad relativamente baja. Estas mediciones revisten una gran importancia, dado que todo el proceso de diseño del sistema de conexión a tierra está influenciado por este valor.

Experiencias como la de Emerson Duche Zabala & Willy Miñan Manrique (2013) Guayaquil, con su trabajo de investigación cuyo tema es: "Diseño del sistema de puesta a tierra de la estación repetidora el alisal para sistemas de telecomunicaciones de movistar." Se pudo demostrar que el uso de las normativas para el diseño de puesta a tierra es fundamental para poder obtener resultados acordes a los requerimientos técnicos del cliente.

Se llega a la conclusión de que llevar a cabo un análisis de la resistividad del suelo resulta crucial, ya que esto determina la resistencia necesaria para el sistema de conexión a tierra.

Los resultados obtenidos son una resistencia de  $4,57 \Omega$  siendo un buen resultado ya que la resistencia, ya que la norma dice que estos sistemas de telecomunicaciones deben tener valores por debajo de los  $5 \Omega$  cumpliendo así los requerimientos.

Es claramente necesario que contar con un sistema de conexión a tierra adecuadamente dimensionado posee una importancia fundamental para asegurar un sistema eléctrico confiable. Este sistema debe cumplir con los estándares establecidos y prevenir posibles perjuicios tanto para las personas como para los equipos, evitando su deterioro o daño.

### **Planteamiento del problema**

La Radio Latacunga está ubicada en el centro histórico de la ciudad de Latacunga en las coordenadas X:765470, Y:9896619, empezó sus operaciones en el año de 1981, en la actualidad esta radio emite su frecuencia radial en 1080 AM y 102.1 FM.

### **Figura 1**

*Ubicación de Radio Latacunga*



*Nota.* Ubicación de Google maps 2023

Durante la inspección realizada en radio Latacunga se revisó la cámara de transformación que tiene más de 30 años de haber sido construida, cuenta con un transformador de 75kVA, se pudo constatar el mal estado en el que se encuentra esta instalación, en la Figura 2 se puede observar el estado de la cámara de transformación y en la Figura 3 se muestra la placa de características del transformador instalado.

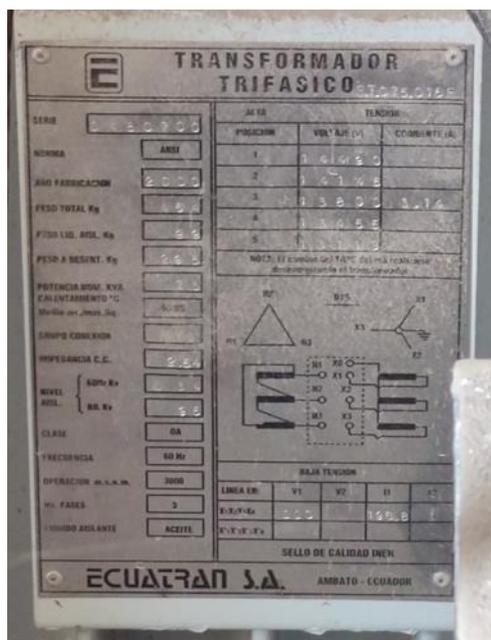
**Figura 2**

*Cámara de transformación existente*



**Figura 3**

*Placa de características del transformador instalado.*



Como parte de la inspección también se pudo constatar que no disponen de una puesta a tierra apropiada para un excelente funcionamiento de los equipos anclados a la red eléctrica interna de la radio, existen varillas de cobre instaladas en algunos puntos para poder tener una referencia de tierra, pero al realizar las mediciones de resistencia de las mismas nos da como resultado un promedio de 125 (ohmios), comenta el técnico encargado del mantenimiento que este problema viene ocurriendo desde hace 10 años, esto ha provocado problemas en la radio, como son daños en los equipos de enlace de transmisión, procesadores de audio y video, consolas, también existen interferencia de señal por la diferencia de valores de las referencias de tierra.

De no realizar un estudio de un sistema de puesta a tierra apropiado, no se podrá implementar una malla a tierra, esto podría ocasionar daños a las personas o a los equipos eléctricos y electrónicos, en este caso los equipos de comunicación de Radio Latacunga que son equipos que necesitan una protección de un sistema de puesta a tierra para poder evitar las sobrecargas, el deteriorar la vida útil de los mismo, la interferencia de la señal de radio. En base al análisis de la información que se levantó en el sitio la necesidad de la implementación de un sistema de puesta a tierra es prioritario para que los equipos existentes no se sigan deteriorando, por sobrecargas y no existan interferencias en la transmisión de la señal de radio Latacunga.

### **Justificación**

El estudio de puesta a tierra es fundamental para el buen funcionamiento de los equipos y protección de las personas, en este caso al tener instalados en el sistema eléctrico de la radio Latacunga dispositivos electrónicos de telecomunicaciones, se requiere un diseño que esté acorde a la normativa vigente que pueda cumplir con la función de proteger estos equipos y las personas al tener un valor de resistencia menor a 5 ohmios.

Este estudio será utilizado como una guía para la construcción posterior del sistema de puesta a tierra que se requiere en el lugar, ya que constará de un análisis de resistividad del

terreno, diseño de la malla a tierra, ubicación, valores calculados de resistencia, costos estimados de construcción, la implementación de este sistema alargará la vida útil de los equipos de radio, mejorará la transmisión al no existir diferencia de valores en las referencias de tierra.

Con el desarrollo del presente estudio radio Latacunga será beneficiada ya que este diseño servirá para poder contratar la construcción de un sistema de puesta a tierra adecuado.

Debido a esto se ha decidido realizar el diseño de una puesta a tierra dimensionada de acuerdo con la normativa vigente, que cubra las necesidades del sistema eléctrico de la radio.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

Analizar la importancia de un sistema de puesta a tierra aplicando la normativa eléctrica vigente para protección de sistemas eléctricos y de comunicaciones.

### ***Objetivos específicos***

- Determinar la resistividad del terreno en la cual se encuentra la estación de Radio Latacunga.
- Conocer y comprender las normas que regulan el estudio de un sistema de puesta a tierra.
- Aplicar los conocimientos y fórmulas para el desarrollo de un diseño óptimo de puesta a tierra para dispositivos o equipos de comunicaciones de la radio Latacunga.
- Realizar planos y presupuesto referencial para la construcción e implementación del sistema de puesta a tierra diseñado.

## **Alcance**

Para llevar a cabo el análisis del sistema de conexión a tierra, es esencial comenzar con una evaluación preliminar. Esto permitirá entender las condiciones actuales del sistema, en

caso de que ya exista uno en su lugar. Será importante entablar una conversación con el técnico responsable del mantenimiento de la estación de la radio Latacunga, con el propósito de conocer los problemas presentes y así determinar las posibles soluciones para abarcar estos problemas.

Para comenzar el proceso de cálculo y diseño de la nueva red de conexión a tierra, se llevará a cabo una medición de la resistividad del suelo en la ubicación donde se planea instalar el sistema. Este proceso se hará mediante el uso de un instrumento de medición conocido como "Telurómetro", siguiendo el método de Wenner. Esta técnica permitirá obtener el valor de la resistividad del terreno en unidades de Ohmios por metro.

Una vez que tengamos estos valores, procederemos a examinar la normativa actual aplicable para continuar con el desarrollo del estudio de conexión a tierra. Utilizaremos como referencia la norma IEEE Std 80-2013, la cual se destaca como una guía integral sobre los aspectos técnicos más relevantes para la implementación de sistemas de puesta a tierra en subestaciones y sistemas eléctricos.

Con el estudio de la normativa se desarrollarán los cálculos y el diseño de la malla a tierra según los requerimientos de la estación de radio Latacunga y acorde a los valores sugeridos de la norma.

Una vez obtenidos los cálculos y el diseño de la puesta a tierra se realizarán los planos con las especificaciones de construcción y ubicación de la nueva puesta a tierra, en esto también se incluirá un presupuesto referencial para la posterior construcción e implementación del sistema de puesta a tierra.

## Capítulo II

### Marco teórico

#### Sistema de puesta a tierra

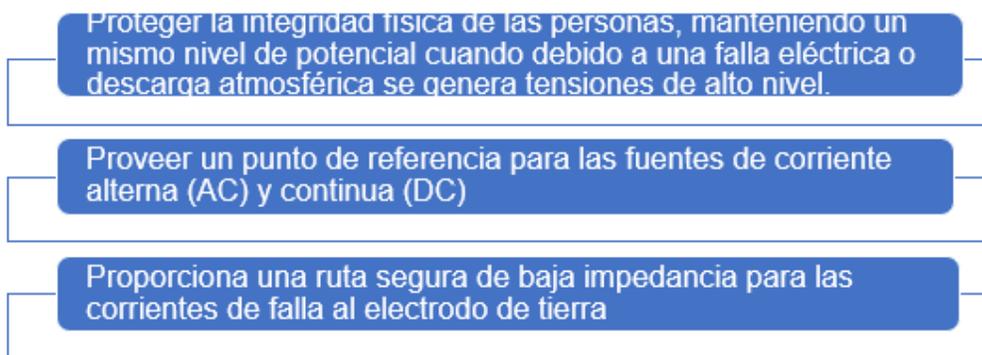
Un sistema de conexión a tierra se caracteriza por tener al menos un conductor o punto que se conecta intencionalmente al suelo (generalmente el neutro o punto común de una configuración en estrella). Por cuestiones prácticas y económicas, esta conexión suele realizarse en proximidad a la unión de los tres devanados individuales de un transformador trifásico, en el neutro o punto común de la configuración en estrella. Este enfoque se emplea cuando es necesario enlazar una carga entre fase y neutro en el sistema, con el fin de evitar que la tensión entre neutro y tierra varíe con las cargas (Procobre, 2013).

La conexión a tierra tiene el efecto de reducir las oscilaciones de voltaje y los desequilibrios que podrían surgir. Además, brinda la ventaja de que los relés residuales pueden ser empleados para detectar fallas antes de que estas evolucionen en problemas entre fases. Esta anticipación contribuye a minimizar los daños reales y disminuir la tensión en otras partes de la red (Procobre, 2013).

En la Figura 4 se muestra los principales objetivos que un SPAT proporciona en una instalación eléctrica.

#### Figura 4

*Objetivos de un Sistema de Puesta a Tierra (SPAT).*



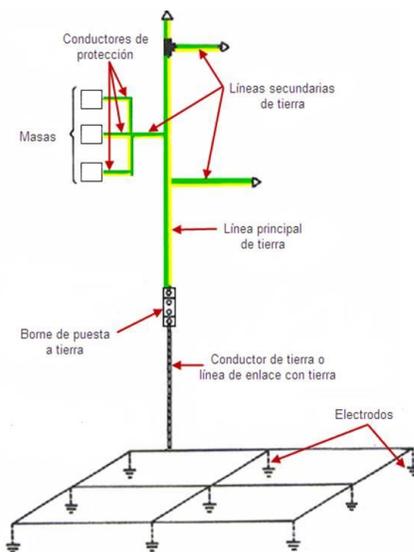
### ***Elementos que constituyen un Sistema de Puesta a Tierra.***

Los elementos que constituyen una puesta a tierra son todos aquellos que se usan para conducir la energía eléctrica del sistema hasta el punto de dispersión que es la tierra.

En la Figura 5 se puede observar con más detalle los elementos previamente descritos.

### **Figura 5**

*Elementos de un sistema de puesta a tierra.*



*Nota.* Tomada de

[https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI05/es\\_IEA\\_IEI05\\_Contenidos/IEI05\\_CONT\\_R43\\_pi c019.jpg](https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI05/es_IEA_IEI05_Contenidos/IEI05_CONT_R43_pi c019.jpg)

Un Sistema de Puesta a Tierra se caracteriza por los siguientes elementos:

#### **Electrodo de puesta a tierra.**

Un conductor o un grupo de conductores que se encuentran bajo tierra y se utilizan para establecer una conexión con el suelo. Los conductores que no están aislados eléctricamente y que entran en contacto con el suelo con el propósito de conectarse al electrodo, serán considerados como parte integral de dicho electrodo (García, 1999).

Según la NEC (2010) “Los electrodos de puesta a tierra deben cumplir con dimensiones mínimas establecidas, según el tipo de material”. Ver la tabla 1.

**Tabla 1**

*Requisitos para electrodos de puesta a tierra.*

Tipo de electrodo	Materiales	Diámetro mm	Dimensiones Mínimas		
			Área mm <sup>2</sup>	Espesor mm	Recubrimiento µm
Varilla	Cobre	12.7			
	Acero inoxidable	10			
	Acero galvanizado en caliente	16			70
	Acero con recubrimiento electrodepositado de cobre	14			100
	Acero con recubrimiento total en cobre	15			2000
Tubo	Cobre	20		2	
	Acero inoxidable	25		2	
	Acero galvanizado en caliente	25		2	55
	Cobre		50	2	
Fleje	Acero inoxidable		90	3	
	Cobre cincado		50	2	40
	Cobre	1,8 para cada hilo		25	
Cable	Cobre estaño	1,8 para cada hilo		25	
			20000	1,5	
Placa	Cobre		20000		
	Acero inoxidable			6	

*Nota.* Tomado de (NEC, 2011)

**Línea de tierra.** Se trata de los cables o grupo de cables que conectan el electrodo de conexión a tierra con una sección específica de la instalación que necesita ser conectada a tierra. Esto es válido tanto si los cables se encuentran en la superficie como si están enterrados en el suelo, siempre y cuando estén aislados del terreno (García, 1999).

**Varilla Copperweld.** Las Varillas Copperweld representan las barras más comúnmente empleadas para la conexión a tierra Copperweld. Estas barras están diseñadas de manera que incluyen accesorios que simplifican su instalación, como conexiones, sistemas de sujeción y herramientas para realizar conexiones exotérmicas (Solarever, 2019). Véase Figura 6.

### Figura 6

*Varilla Copperweld*



*Nota.* Tomado de (Solarever, 2019)

**Electrodos activos de cobre.** Es un dispositivo de cobre diseñado para poner a tierra el sistema en cualquier tipo de terreno.

Reemplazando las rejillas de conexión a tierra tradicionales, este producto está lleno de sales y minerales naturales, por lo que es activo, lo que le permite mantener la resistencia a la conexión a tierra durante un período de tiempo más prolongado, incluso en verano (Corporación DIM, 2022).

Véase Figura 7.

## Figura 7

*Electrodo activo.*

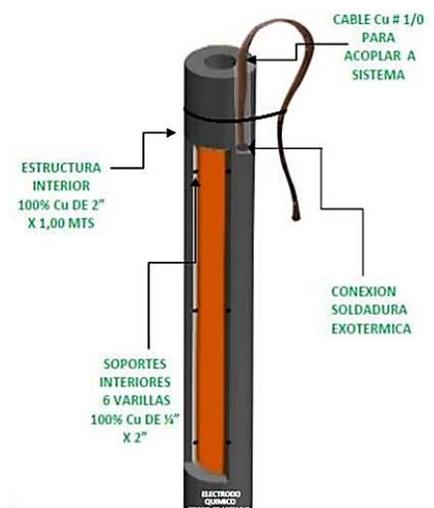


*Nota.* Tomado de (Corporación DIM, 2022)

**Electrodo químico activo (grafito).** A continuación, en la figura 8 se muestran las partes de un electrodo de grafito y a diferencia del anterior electrodo, es que su relleno exterior es de pasta de grafito compactado fundida a su alma de cobre.

## Figura 8

*Electrodo de grafito*



*Nota.* Tomado de (bionalcorp)

### **Punto de puesta a tierra o borne.**

El punto de conexión a tierra o terminal es una ubicación, típicamente ubicada en un área que no está en contacto directo con el suelo, que actúa como punto de unión entre las líneas de conexión a tierra y el electrodo. Esta unión puede ocurrir directamente o mediante cables de enlace que lo conectan (García, 1999).

### **Figura 9**

*Borne de puesta a tierra.*



*Nota.* Tomado de (MSI, 2020)

### **Línea de enlace con el electrodo de (puesta a) tierra.**

Si hay un punto de conexión a tierra, la sección de la línea de conexión a tierra que se extiende desde ese punto hasta el electrodo se llama línea de enlace con la tierra. Esto es válido siempre y cuando el conductor esté ubicado fuera o aislado del suelo (García, 1999).

véase la figura 10.

### **Figura 10**

*Conductor del electrodo de tierra.*



*Nota.* Tomado de (Ávila, 2019)

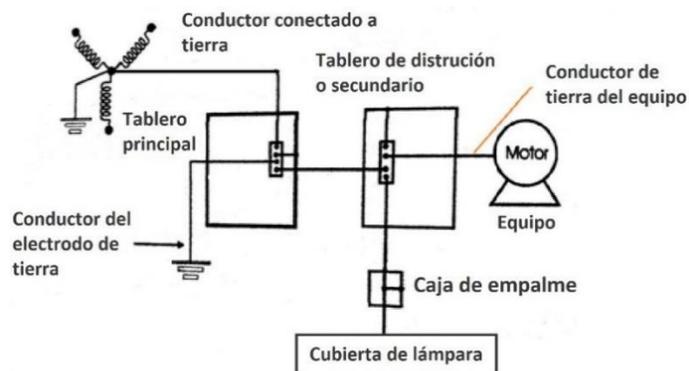
### **Conductores de tierra del equipo.**

El cable que conecta los equipos eléctricos a la tierra es un conductor empleado para enlazar las carcasas metálicas de los dispositivos, como motores y otras partes inactivas del sistema, con el suelo. Estos cables, de tonalidad amarillo verdosa, se fabrican con cobre y se les añade un aislante eléctrico. El grosor del cable varía en función de la corriente que fluye a través de los conductores (Bustamante Cuenca, 2011).

Una tierra de seguridad o fuerza está conformada por algunos elementos, los cuales se pueden observar en la Figura 11.

### **Figura 11**

*Tierra de seguridad.*



*Nota.* Tomado de (Díaz Pablo, 2001)

### ***Funciones y objetivos básicos de una instalación de puesta a Tierra***

El propósito de la conexión a tierra en sistemas eléctricos consiste en dirigir hacia el suelo las corrientes eléctricas de diversos orígenes. Esto incluye tanto corrientes anómalas en frecuencias industriales como las generadas por fallos, así como aquellas producidas por descargas atmosféricas con características de impulso. (García, 1999).

Con ello, se logra:

- Restringir la variación de potencial que pueda surgir en un instante particular entre la estructura de metal y el suelo (García, 1999).
- Habilitar la identificación de fallas en la conexión a tierra y garantizar que las medidas de protección funcionen de manera eficiente y sincronizada. Esto ayuda a reducir o eliminar el riesgo que representa un fallo tanto para los equipos utilizados como para la seguridad de las personas involucradas. (García, 1999).
- Limitar las sobretensiones internas (de maniobra -transitorias- y temporales) que se presentan en la red eléctrica debido a fallas eléctricas o descargar atmosféricas (García, 1999).
- Prevenir la posibilidad de que las tensiones abruptas generadas por los impactos de rayos provoquen un proceso inverso de conducción eléctrica, especialmente en situaciones al aire libre y específicamente en sistemas de líneas suspendidas. (García, 1999).

### **Tipos de puesta a tierra**

#### ***Puesta a tierra de equipos de procesamiento de datos***

Es aquella malla de tierra en la cual se van a interconectar diferentes dispositivos que poseen microprocesadores, por ejemplo, computadoras, equipos de telecomunicaciones, dispositivos electrónicos, entre otros. En resumen, se trata de dispositivos electrónicos delicados (Procobre, 2013).

#### ***Puesta a tierra de potencia***

Esta malla de conexión a tierra es un sistema que se utiliza para conectar el neutro de un transformador de potencia o una máquina eléctrica, así como las partes metálicas de la instalación, como las carcasas (Zapata, 2012).

La resistencia de la malla de servicio depende únicamente de la corriente de falla monofásica esperada en el sistema. Esta forma de conexión a tierra se utiliza

exclusivamente con el propósito de proteger la vida de las personas, ya que tiene en cuenta las tensiones de paso y contacto. Por esta razón, también se conoce como conexión a tierra de seguridad (Zapata, 2012).

### ***Puesta a tierra temporales***

Son solo provisionales, es decir, están disponibles mientras dure el trabajo del personal encargado, conectando las partes de la instalación que se va a hacer el mantenimiento para que los trabajos efectuados por el personal sean accesible y seguro (Zapata, 2012).

### ***Puesta a tierra de protección atmosférica***

Este tipo de protección tiene una menor impedancia para el paso de los rayos, dispersando esta corriente de falla en el suelo, para salvaguardar la vida de las personas y cuidar los equipos e instalaciones del lugar (Zapata, 2012).

### **Configuración de mallas de puesta a tierra**

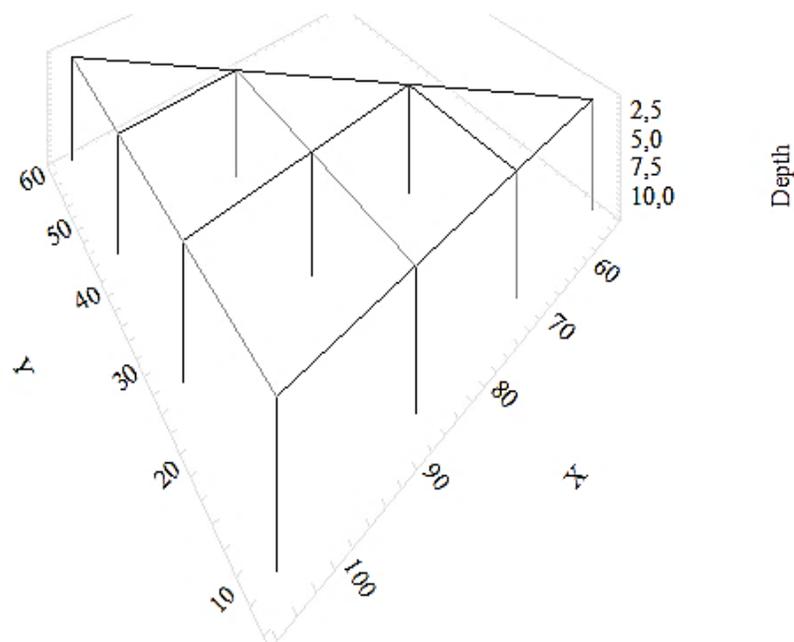
#### ***Malla de puesta a tierra en triángulo***

En las instalaciones eléctricas, se utiliza una técnica importante conocida como malla de puesta a tierra en forma de triángulo. Esta práctica tiene como objetivo prevenir sobretensiones, mejorar la seguridad del sistema y optimizar la distribución de la alimentación eléctrica. La malla de puesta a tierra en forma de triángulo se compone de tres puntos de conexión con la tierra: uno en la parte superior, otro en la parte media y otro en la parte inferior. Esto permite que los equipos eléctricos tengan una mejor conexión con la tierra, lo que puede ayudar a reducir las diferencias de potencial entre los conductores y la tierra, y evitar daños en el sistema eléctrico. Con la distribución apropiada y regular de las mallas de puesta a tierra, se puede minimizar la probabilidad de accidentes en el sistema eléctrico. Por lo tanto, la colocación de mallas de puesta a tierra en triángulo es una práctica esencial para mejorar la seguridad y el desempeño de un sistema eléctrico (McHenry, 2019).

Véase la figura 12.

**Figura 12**

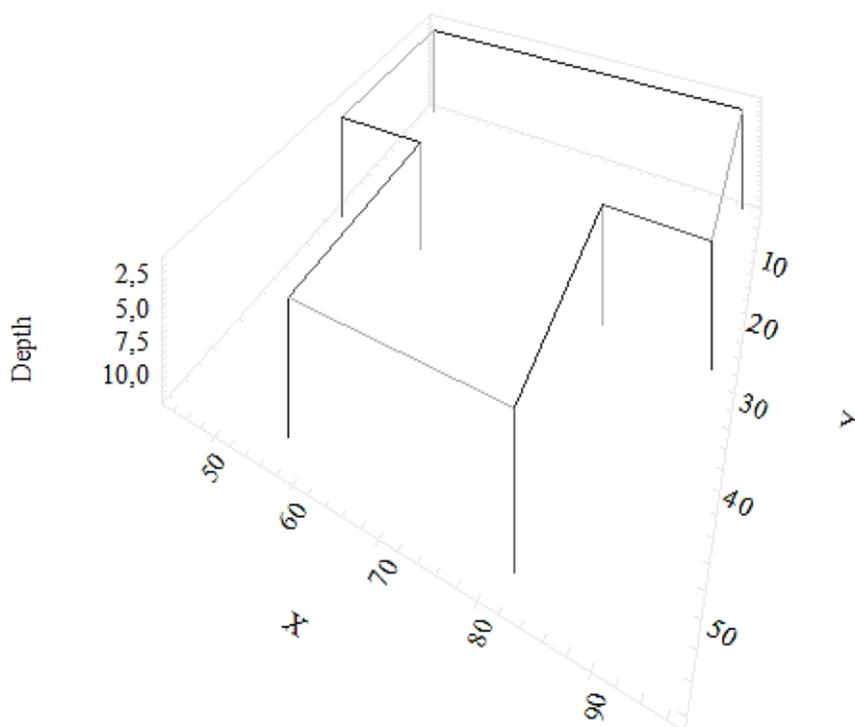
*Malla de puesta a tierra en triangulo.*



### ***Malla de puesta a tierra en T***

Los sistemas de puesta a tierra en T consisten en una sola barra de tierra, seguida de varias conexiones y direcciones para que todos los equipos, dispositivos y sistemas se conecten, permitiendo que el circuito eléctrico funcione de forma fiable. Esta estructura se usa principalmente para reducir el nivel de almacenamiento de energía eléctrica y permitir que todos los involucrados fluyan a la tierra en caso de una falla eléctrica. Estos sistemas se pueden encontrar en climas extremos y hasta en edificios residenciales (Davim, 2016).

En la figura 13 observamos la configuración de la malla.

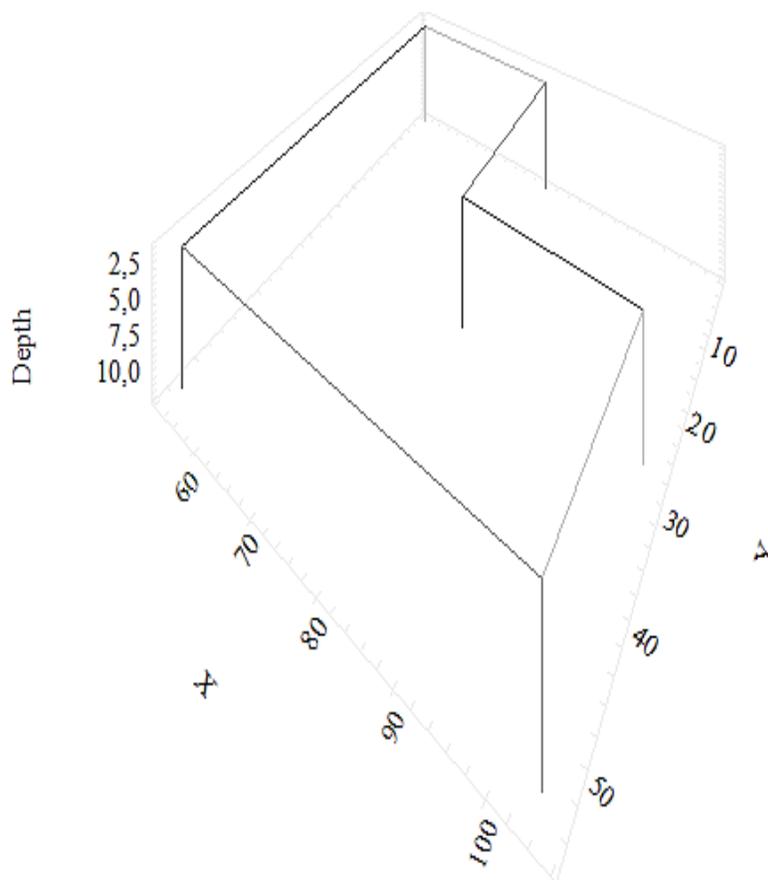
**Figura 13***Malla de puesta a tierra en T.****Malla de puesta a tierra en L***

Los sistemas de puesta a tierra en línea (L) establecen un patrón de puesta a tierra de baja resistencia, proveen una conexión a tierra segura a la red eléctrica y a la tierra, y emplean una gran resistencia que evita la descarga de sobrecargas eléctricas a través del suelo. La pata de L generalmente está hecha de cobre o acero galvanizado para disminuir la resistencia a la tierra y evitar que la corriente se descargue a través del suelo. Los sistemas de puesta a tierra son esenciales para garantizar la seguridad de la red eléctrica, así como minimizar la interferencia electromagnética y los daños a los equipos electrónicos (Gómez, 2019).

En la figura 14 se puede observar la configuración de la malla.

**Figura 14**

*Malla de puesta a tierra en L.*



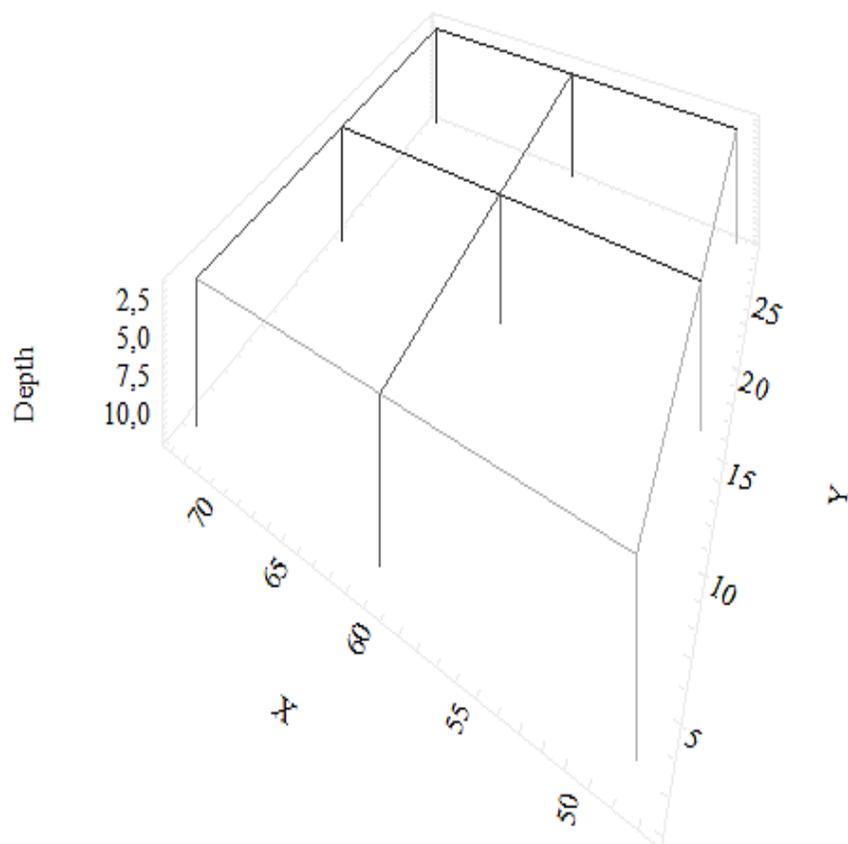
### ***Malla de puesta a tierra en cuadrado***

Para proteger los equipos eléctricos o electrónicos de corrientes peligrosas, es comúnmente utilizada la malla de puesta a tierra en forma de cuadrado. Esta malla sirve tanto para conducir la corriente eléctrica a tierra como para descargar las cargas electrostáticas. De esta manera, se evitan sobre corrientes que podrían dañar o comprometer el funcionamiento de los equipos (IEEE, 2005).

En la figura 15 se puede ver la configuración de la malla.

**Figura 15**

*Malla de puesta a tierra cuadrada.*



### **Resistividad del terreno**

El último elemento crucial que influye significativamente en la impedancia del sistema de conexión a tierra es la resistencia que presenta el medio que rodea al electrodo, es decir, el terreno. Esto se debe a que la resistividad del terreno desempeña un papel fundamental en el rendimiento de los electrodos de tierra y merece una exploración más detallada. La resistividad del terreno se mide en unidades de ohmios por metro (Procobre, 2013).

La resistividad del terreno según su naturaleza se describe en la tabla 2.

**Tabla 2***Resistividad del terreno por su naturaleza.*

<b>Naturaleza del terreno</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega</math>.m)</b>
Terrenos Pantanosos	0 a 30
Limus	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcilla compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3 000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1 500 a 3 000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1 000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1 000
Esquistos	50 a 300
Micacitas	800
Granitos y gres procedentes de alteración	1500 a 10 000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600

*Nota.* Tomado de (UNE 21186 ,1996)

### ***Factores que intervienen en la variación de la resistividad del terreno***

Se han identificado diversos elementos que influyen en los cambios en la resistividad del suelo, tales como los siguientes:

**Composición.** “La composición química del terreno, cantidad y calidad de las sales minerales influyen en la resistividad del terreno considerablemente” (Bustamante Cuenca, 2011).

**Las sales solubles y su concentración.** Las sales, en combinación con el agua, crean electrolitos que permiten el flujo de corriente eléctrica. La concentración de sales en una solución es directamente proporcional a la capacidad de conducción de electricidad (Ruales, 2022).

**El estado higrométrico.** El contenido de agua tiene un impacto directo en la resistencia, sin embargo, este valor no es constante, ya que varía en función del clima, de la estación del año, de la composición del suelo y de la profundidad (Ruales, 2022).

**La temperatura.** La resistividad del suelo está relacionada con la temperatura ambiental; cuando el suelo está húmedo y se congela, su resistividad tiende a aumentar. Esto se debe a que la movilidad de los componentes conductores disminuye con el frío, lo que resulta en una conducción de energía menos eficiente (Ruales, 2022).

**La compactidad.** El término compactidad se refiere a suelos granulares, y al ser más compacto el suelo, su resistencia disminuye; teniendo de esta manera una relación inversamente proporcional. Por esta consideración se realiza la colocación de los electrodos en los suelos más compactos (Ruales, 2022).

**La estratigrafía.** Este término se refiere a las capas que posee el terreno, cada una de ellas con diferente composición y naturaleza (Ruales, 2022).

## **Método de medición de la resistividad del terreno**

### ***Método de cuatro puntas o electrodos (Método Wenner)***

El método de Wenner es una disposición de cuatro electrodos que se emplea para calcular la resistividad del suelo. Consiste en colocar electrodos en línea recta con una separación  $a$  entre cada par de ellos, y se entierran a una profundidad que cumpla con la condición  $a > 20 b$ , donde  $b$  es la profundidad de entierro (IEEE, 2012).

Para obtener la resistividad del terreno se utiliza la ecuación 1.

### **Ecuación 1**

*Resistividad del terreno*

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

En donde:

$\rho$  = resistividad promedio del suelo a un valor de profundidad  $a$  ( $\Omega m$ )

$\pi$  = 3,1416

$a$  = la distancia entre los electrodos (m)

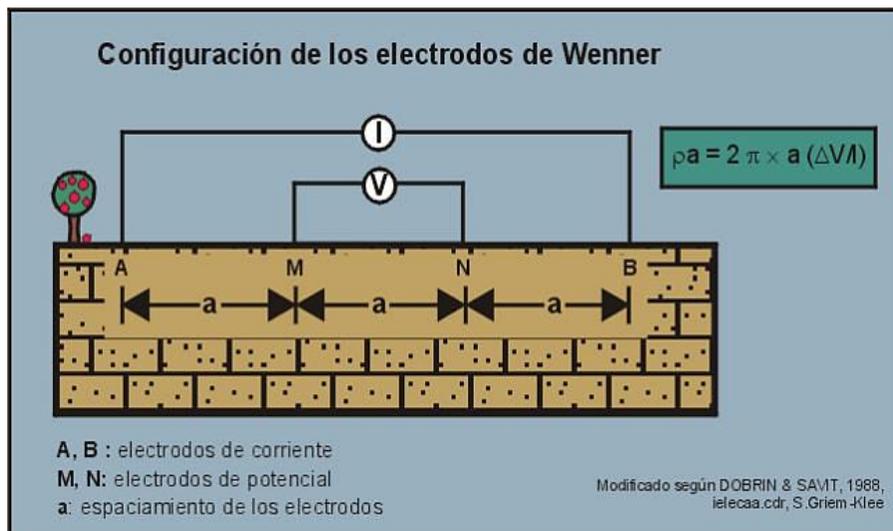
$R$  = el valor de resistencia medida ( $\Omega$ )

$R$ , se obtiene del telurómetro (instrumento de medición de SPAT).

En la figura 16 se muestra la ubicación de las 4 picas, “La distancia  $a$  entre picas debe ser tres veces mayor a la distancia de profundidad de las picas. El equipo de medición inyecta una corriente a las dos picas ubicadas a los extremos y medición de caída de potencial de tensión, entre las dos picas internas” (IEEE, 2012).

### Figura 16

*Ilustración método de Wenner.*



*Nota.* Tomado de <https://teluometro.com/metodo-wenner/>

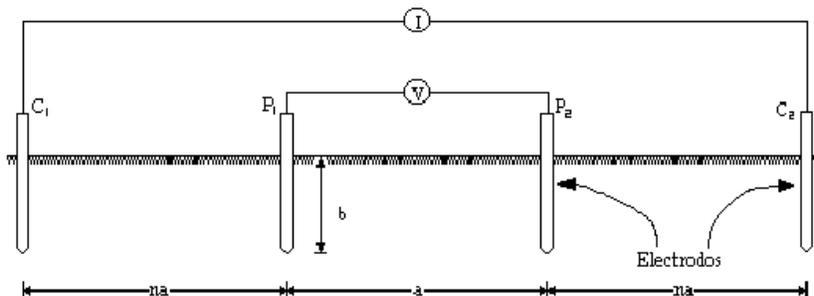
### **Método de Schlumberger**

El método de Schlumberger es una adaptación del enfoque de Wenner que también emplea cuatro electrodos. En este caso, la separación entre los electrodos del medio, que son los de potencial, se mantiene fija (denominada " $a$ "). Las mediciones se efectúan al alterar la distancia entre los electrodos exteriores en múltiplos ( $n$  veces) de la separación básica entre los electrodos del medio ( $a$ ) (Ruales, 2022).

Tanto la disposición como la representación de la resistividad vinculada a este enfoque de evaluación están ilustradas en la figura 17

### Figura17

#### Método de Schlumberger



Nota. Tomado de <https://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe70.html>

### Ecuación 2

#### Resistividad método Schlumberger

$$\rho = 2 \pi R(n + 1) na$$

En donde:

$\rho$  = resistividad promedio del suelo a un valor de profundidad  $a$  ( $\Omega m$ )

$\pi$  = 3,1416

$na$  = la distancia entre los electrodos (m)

$a$  = la distancia entre los electrodos (m)

$R$  = el valor de resistencia medida ( $\Omega$ )

#### Método de tres puntos

La medición de la resistividad eléctrica del suelo por el método de tres puntos es una técnica bien establecida para evaluar la resistividad del suelo. Esta medición se lleva a cabo con un generador de corriente conectado a dos electrodos (denominados ánodo y cátodo), sobre los que se inyecta una corriente constante. El tercero de los electrodos,



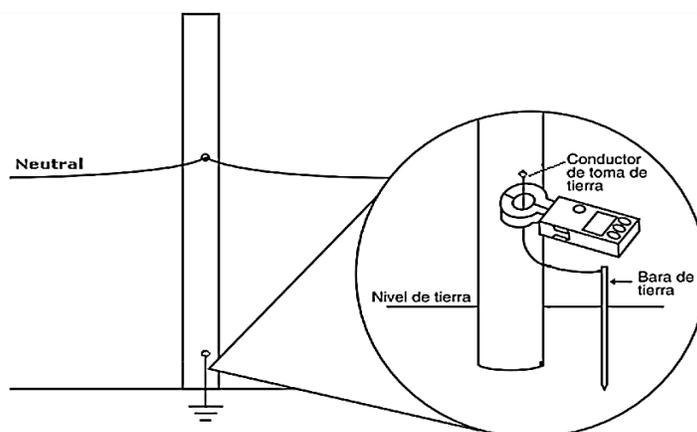
## Equipos para medir resistividad y resistencia del suelo

### **Medidor de Resistencia de Tierra tipo Pinza**

El dispositivo de tipo pinza para medir resistencia de conexión a tierra evalúa la resistencia en varillas de tierra o en conexiones pequeñas al rodear el conductor de tierra o el cable descendente, tal como se ilustra en la figura 19.

### **Figura 19**

*Medidor tipo pinza.*



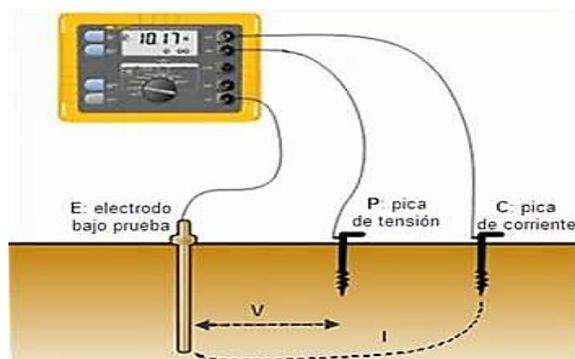
*Nota.* Tomado de sitio Web (ENSA , 2014)

### **Telurómetro**

Los dispositivos para medir la resistencia de tierra con tres o cuatro hilos, a veces conocidos como "telurómetros", integran una fuente de corriente junto con un instrumento para medir la tensión. Estos equipos necesitan el uso de estacas o pinzas, como se muestra en la figura 20.

## Figura 20

### Telurómetro



*Nota.* Tomado de sitio Web (Ingeniería Eléctrica Viditec, s.f.)

### **Tratamiento del Terreno para mejorar la resistencia de puesta a tierra**

El proceso químico aplicado al suelo tiene como objetivo mejorar y disminuir la resistencia particular del suelo, sin requerir la utilización de numerosos electrodos. Esto es especialmente útil cuando los electrodos de tierra no pueden ser enterrados debido a la compactación del terreno. Diversos tratamientos químicos posibilitan la reducción de la resistencia de tierra en un rango que va desde el 15% hasta el 90%, variando según el tipo y la composición del suelo. (Tarazona Tinoco, 2008).

Al seleccionar un tratamiento químico para un Sistema de Puesta a Tierra, es esencial tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Una reducción significativa al principio.
- La facilidad para aplicarlo.
- La duración en el tiempo tanto del tratamiento como de los componentes del sistema de tierra.
- La simplicidad al reactivarlo en caso necesario.
- La capacidad de mantener la estabilidad (conservar la misma resistencia durante varios años).

Adicionalmente, las sustancias empleadas en un tratamiento químico efectivo deben poseer las siguientes cualidades: no causar corrosión, mostrar una buena conductividad eléctrica, mantener su estabilidad química en el suelo y ser seguras para el entorno natural.

Dentro de las opciones primordiales de tratamiento químico para disminuir la resistencia de una conexión a tierra, se incluyen:

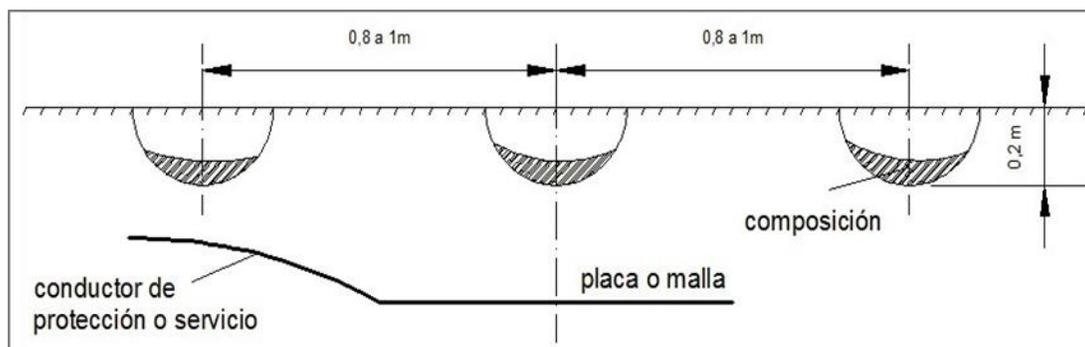
1. Tratamiento utilizando compuestos salinos.
2. Tratamiento empleando geles conductores.

**Tratamiento con sales.** El método del tratamiento con sales implica enterrar una cantidad controlada de sal en una excavación poco profunda alrededor del electrodo o conductor enterrado (como se ilustra en la Figura 21).

Las opciones incluyen sales como cloruro sódico, carbonato de sosa, sulfato de cobre, sulfato de magnesio, o incluso el uso de bentonita. Una vez enterrada la sal, se llena en la cantidad recomendada según los catálogos de los productos químicos, y luego se riega con agua para activar el proceso.

### Figura 21

*Tratamiento de un terreno con sal*



*Nota.* Tomado de Martínez Requena, Juan, Puesta a Tierra en Edificios y en Instalaciones Eléctricas, 2004.

El relleno ideal debe compactarse fácilmente, ser no corrosivo y a la vez buen conductor. Debido que en periodos lluviosos se arrastra la sal por las aguas lluvias, se debe realizar nuevamente el tratamiento al cabo de dos años.

Para incrementar la eficacia de la resistencia de la conexión a tierra, se sugiere introducir elementos químicos en el suelo, como los productos QUIBACSOL o GEM (Material de Mejoramiento de Tierra, por sus siglas en inglés) (ver figura 22). Estos compuestos tienen la función de optimizar el nivel de humedad en el suelo mediante sustancias químicas, lo que a su vez amplía la capacidad de conducción eléctrica del terreno.

### Figura 22

*Productos para mejorar la resistividad del suelo.*



*Nota.* Tomado de Implesa productos 2022

Estos compuestos son idóneos para una variedad de sistemas de conexión a tierra, especialmente aquellos que requieren mantener una resistencia excepcionalmente baja y confiable. Esto abarca desde computadoras, sistemas de protección, maquinaria e instrumentos electrónicos, hasta hogares, estaciones de transformación, sistemas de pararrayos, antenas y más.

Tienen un valor significativo al incrementar los logros obtenidos en la implementación de nuevas conexiones a tierra, así como en el mantenimiento de conexiones a tierra previamente instaladas.

**Tratamiento con geles.** El método implica tratar el suelo utilizando dos soluciones líquidas que se combinan y se transforman en un gel. Estos compuestos gelificados permiten que el suelo mantenga su integridad química y conductividad eléctrica durante un período de alrededor de 4 a 6 años.

El procedimiento de implementación involucra la introducción de electrolitos en la zanja. Estos electrolitos, al unirse en forma de gel, mejoran la capacidad de conducción eléctrica del suelo y mantienen la humedad por un período prolongado. Esto asegura una reducción eficiente en la resistencia eléctrica y una estabilidad que permanece constante a pesar de los cambios climáticos.

**GEM (Ground Enhancement Material).** El intensificador de terreno (GEM) es un material conductor no corrosivo, su composición es a base de polvo de carbono brindando una resistencia muy baja, haciéndolo ideal para suelos con poca conductividad (suelo rocoso, cimas de montañas y suelo arenoso).

Contiene cemento de Portland que se endurece cuando se seca, consiguiéndose que no se filtre o deslave.

A continuación, se enlista las características del GEM:

- Reduce dramáticamente la resistencia de la tierra.
- Mantiene una resistencia constante a lo largo de toda la vida útil del sistema de conexión a tierra.
- Me Realza la eficacia de la conexión a tierra en una variedad de tipos de suelo, incluso durante periodos de sequía.
- No se disuelve, ni se descompone con el paso del tiempo.

- No requiere una constante presencia de agua para mantener su capacidad de conducción.
- No necesita recargarse con sustancias químicas adicionales que resulten corrosivas.

**Recomendaciones:** Se debe usar agua potable para su mezcla, no es aconsejable mezclar con agua salada.

### Valores de resistencia de puesta a tierra

En la tabla 3, según la norma NEC-11 y la Empresa Eléctrica Quito. “los valores máximos de resistencia de puesta a tierra, son los siguientes:”

**Tabla 3**

*Valores de resistencia de puesta a tierra.*

Aplicación	Valores máximos de resistencia de puesta a tierra
Estructuras de línea de transmisión	20 $\Omega$
Subestaciones de alta y extra alta tensión	1 $\Omega$
Subestaciones de media tensión	10 $\Omega$
Protección contra rayos	10 $\Omega$
Neutro de acometida en baja tensión	10 $\Omega$
Equipos electrónicos sensibles	5 $\Omega$

*Nota.* La normativa IEEE afirma. “Para subestaciones de plantas industriales, edificios y grandes instalaciones comerciales es de (1-5)  $\Omega$ ”.

### **Método de medición de resistencia de puesta a tierra**

La norma NEC-11 afirma: “Un valor bajo de resistencia de puesta es siempre deseable para disminuir la máxima elevación de potencial (GPR)”

**Método del 62%.** El método 62 % se lo conoce también como: método de caída de potencial y método de los 3 puntos o 3 polos. Este método utiliza dos picas auxiliares para inyectar una determinada corriente entre la pica externa (C) y la varilla de puesta a tierra (E) (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2010).

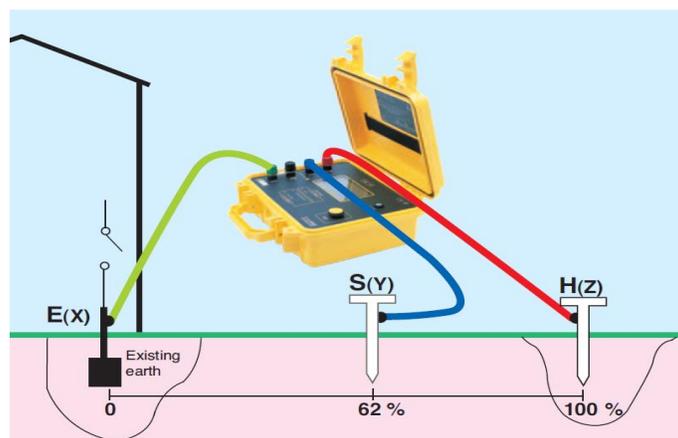
En la figura 12 se puede observar la utilización de las dos picas auxiliares y varilla de puesta tierra, ubicadas en línea recta para realizar la medición con el método del 62%. Las varillas auxiliares deben estar firmemente clavados al terreno para que exista un buen contacto a tierra (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2010).

La medición del método del 62% mide la caída de potencial entre la pica interna (P) y la varilla de puesta a tierra (E). El valor ( $\Omega$ ) obtenido por el equipo es la resistencia real de la puesta a tierra, ya que considera todos los electrodos que forman la malla de tierra (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2010).

La distancia entre las picas E (varilla de tierra) y P (pica interna auxiliar) debe ser 62% de la distancia entre las picas E y C (pica externa auxiliar). Ver Figura 23.

### Figura 23

*Configuración del Método del 62%*



*Nota.* Tomado de <http://rafael-alvarezp.blogspot.com/2019/10/medicion-de-la-puesta-tierra-de.html>

## Soldadura exotérmica

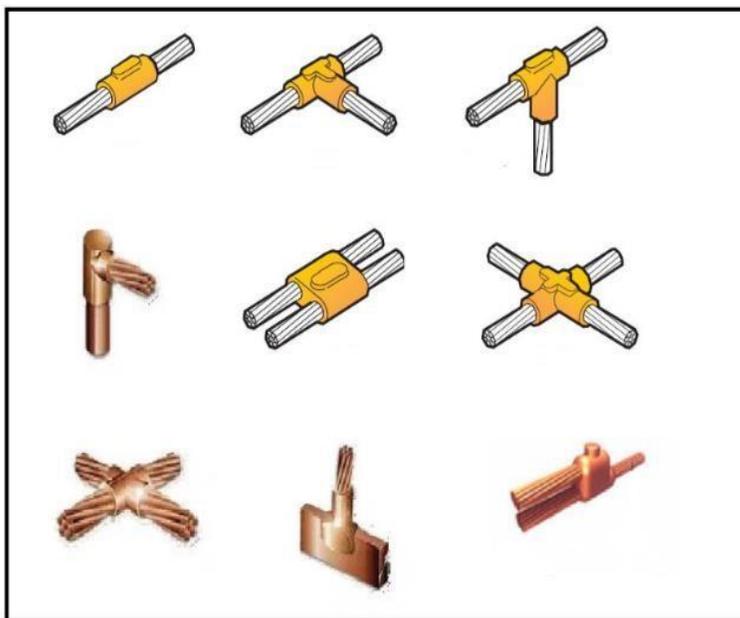
En el proceso de soldadura exotérmica se emplea un método de calentamiento, como el uso de gas o soldadura con arco, y se utiliza una combinación de polvo de metal y moldes de grafito especiales. Al calentarse, el polvo de metal reacciona y se convierte en cobre fundido, el cual se vierte alrededor de las piezas que se van a unir. Esta técnica permite que los metales se fundan ligeramente y se unan de forma permanente con una alta calidad y resistencia (Cadweld, 2018).

El metal fundido es la reacción química entre Aluminio (Al) y Óxido de Cobre (CuO). Dicha reacción química produce calor, alcanzando valores de hasta 2500°C.

En la Figura 24 se puede observar las diferentes uniones utilizadas en la soldadura exotérmica.

### Figura 24

*Tipos de uniones en soldadura exotérmica.*



*Nota.* Tomado de (Grudilec eléctrico, 2018)

### **Soldadura Cadweld plus**

Es la soldadura actualmente utilizada que ha revolucionado la tecnología antigua, ha eliminado los materiales de ignición y han reducido el tiempo de preparación (Cadweld, 2018).

La figura 14 es la representación de los componentes necesarios para la soldadura exotérmica Cadweld Plus. Además, se detalla el interior del molde y partes principales del recipiente hermético, también llamado cápsula de soldadura. (ver figura 25)

### **Figura 25**

*Componentes de la soldadura Cadweld plus.*



*Nota.* Tomado de (ERICO, 2005)

**Cápsula de soldadura.** La cápsula de soldadura (ver figura 26), contiene el material de soldadura (Al y CuO). Tiene forma de copa y es metálica (ERICO, 2005).

## Figura 26

### Cápsula de soldadura



*Nota.* Tomado de (ERICO, 2005)

Dicho material es activado por medio de un detonador. Según el tamaño del recipiente hermético a utilizar, se los puede identificar con los siguientes colores y nomenclatura en general, mostrándose en la figura 27.

## Figura 27

### Cadweld plus para SPAT

Número de Parte CADWELD PLUS	Número de Parte Europeo	Identificación del Tamaño Color del anillo	Número de Parte del Material de Soldadura Tradicional (Tapa Clara)
15PLUSF20	165700	Negro	15
25PLUSF20	165701	Rojo	25
32PLUSF20	165702	Blanco	32
45PLUSF20	165703	Azul claro	45
65PLUSF20	165704	Verde oscuro	65
90PLUSF20	165705	Gris	90
115PLUSF20	165706	Naranja	115
150PLUSF20	165707	Azul oscuro	150
200PLUSF20	165708	Amarillo	200
250PLUSF20	165709	Morado	250
300PLUSF20	165710	Verde claro	use 2 x 150
400PLUSF20	165711	Café	use 2 x 200
500PLUSF20	165712	Café claro	500

*Nota.* Tomado de (ERICO, 2005)

### ***Procedimiento para soldadura exotérmica***

**Primero.** Asegúrate de limpiar y eliminar cualquier suciedad de los conductores y la matriz. Mantener los conductores limpios y secos es crucial. Si no, podrían ocurrir soldaduras deficientes y reacciones intensas (incluso con escapes de material) si el material de soldadura caliente entra en contacto con sustancias sucias o húmedas. (Apliwed, 2016).

#### **Figura 28**

*Limpieza de conductor.*



*Nota.* Tomado de Manual de uso de la soldadura exotérmica Apliweld, 2016.

**Segundo.** Caliente el molde.

Antes de comenzar la primera soldadura de una serie, calienta el molde de grafito usando un soplete hasta llegar a los 120°C. Dado que el grafito puede absorber humedad a temperatura ambiente, es esencial calentarlo por encima del punto de ebullición del agua para eliminar cualquier rastro de humedad por completo. (Apliweld, 2016).

Este paso también es significativo para lograr una soldadura inicial adecuada y garantizar la seguridad del operador. La humedad en el molde es la razón principal detrás de las salpicaduras de material y las soldaduras porosas. (Apliwed, 2016).

**Figura 29**

*Calentamiento del molde de grafito.*



*Nota.* Tomado de Manual de uso de la soldadura exotérmica Apliweld, 2016.

**Tercero.** Coloque los conductores en el molde y cierre las pinzas.

Verifica que las pinzas cierren de manera segura el molde y que los conductores estén firmemente sujetos a él (Apliwed, 2016).

Si los conductores no se ajustan correctamente o quedan sueltos, podría ser porque la sección de los conductores difiere de los valores estándar. (Apliwed, 2016).

**Figura 30**

*Molde de grafito y conductores*



*Nota.* Tomado de Manual de uso de la soldadura exotérmica Apliweld, 2016.

**Cuarto.** Coloque el número de tabletas indicadas en la tolva del molde.

La cantidad de tabletas requerida para el tipo de conexión que estás realizando está especificada tanto en la etiqueta del embalaje como en el molde mismo. No es necesario utilizar un disco metálico para llevar a cabo la soldadura. (Apliwed, 2016).

### **Figura 31**

*Colocación de pastilla de soldadura exotérmica.*



*Nota.* Tomado de Manual de uso de la soldadura exotérmica Apliweld, 2016.

**Quinto.** Cierre la tapa del molde y coloque el iniciador electrónico en su posición.

Una vez que hayas cerrado la tapa, pon el iniciador electrónico en su lugar y asegura su posición utilizando la palanca de seguridad. Esta palanca garantiza un contacto eléctrico sólido y mejora la comodidad durante el trabajo. (Apliwed, 2016).

### **Figura 32**

*Colocación del indicador electrónico.*



*Nota.* Tomado de Manual de uso de la soldadura exotérmica Apliweld, 2016.

**Sexto.** Abra el equipo de encendido electrónico y conecte las bananas.

Conecta ambos pares de conectores tipo banana en el equipo de encendido de acuerdo con la ilustración. No importa cómo los conectes al dispositivo, ya que el casquillo detonador no tiene una dirección específica. Inserta el extremo opuesto del cable en el conector lateral del molde. Después, une la pinza al contacto superior del iniciador electrónico (Apliwed, 2016).

Es muy importante asegurar el buen contacto eléctrico entre la pinza y el filamento, de forma que la pinza no entre en contacto con ninguna otra zona de la tapa (Apliwed, 2016).

### Figura 33

*Equipo de encendido electrónico.*



*Nota.* Tomado de Manual de uso de la soldadura exotérmica Apliweld, 2016.

**Séptimo.** Aléjese del molde y encienda el equipo de encendido.

Muévase a una distancia segura del molde, siguiendo la longitud máxima del cable de conexión (2 metros). Encienda el equipo presionando el interruptor "Encendido / Apagado". Oirá un sonido que le confirmará que el equipo está activo, y podrá ver que el indicador luminoso se torna verde. (Apliwed, 2016).

**Figura34**

*Conexión del encendedor electrónico y el molde*



*Nota.* Tomado de Manual de uso de la soldadura exotérmica Apliweld, 2016.

**Octavo.** Presione los dos botones de ignición al mismo tiempo para iniciar la soldadura. Presiona ambos botones de activación al mismo tiempo y mantenlos presionados hasta que la reacción se inicie. (Apliwed, 2016).

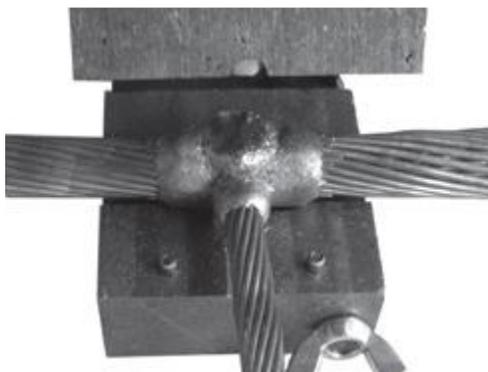
Al presionar ambos botones simultáneamente, el indicador luminoso que señala el proceso de soldadura se iluminará. Escuchará dos señales acústicas que durarán unos 3 segundos cada una, seguidas de un tono constante. La soldadura se realizará mientras suene este último tono. Continúe presionando hasta que el proceso comience. (Apliwed, 2016).

**Noveno.** Espere 15 segundos tras la reacción y abra el molde.

Después de que ocurra la reacción, espera unos 15 segundos antes de abrir el molde para asegurarte de que el material se solidifique correctamente. Cuando abras el molde, asegúrate de usar las pinzas adecuadas y llevar guantes de seguridad, ya que todo el sistema estará a una temperatura elevada. Toma medidas de precaución adicionales. Retira los conductores soldados del interior del molde (Apliwed, 2016).

### Figura 35

*Suelda exotérmica realizada.*



*Nota.* Tomado de Manual de uso de la soldadura exotérmica Apliweld, 2016.

**Decimo.** Limpie el molde.

Utiliza las herramientas adecuadas para limpiar el molde y eliminar los residuos, asegurándote de limpiar también la tolva. (Apliwed, 2016).

### Parámetros de diseño de puesta a tierra

Para diseñar esta malla se utiliza la metodología descrita por la normativa IEEE Std 80-2000.

En la tabla 4 podemos observar los símbolos utilizados en las ecuaciones utilizadas para el diseño de malla de puesta a tierra.

### Tabla 4

*Índice de parámetros de diseño.*

Símbolo	Descripción
$P$	Resistividad del suelo, $\Omega\text{-m}$
$P_s$	Resistividad de la capa superficial, $\Omega\text{-m}$
$3I_0$	Corriente de falla simétrica en la subestación para el tamaño del conductor, A

Símbolo	Descripción
$A$	Área total encerrada por la cuadrícula de tierra, m <sup>2</sup>
$C_s$	Factor de reducción de la capa superficial
$D$	Diámetro del conductor de la cuadrícula, m
$D$	Espaciamiento entre conductores paralelos
$D_f$	Factor de decremento para determinar $I_G$ (ver <i>corriente máxima de cuadrícula</i> )
$D_m$	Máxima distancia entre dos puntos de la cuadrícula, m
$E_m$	Voltaje de malla en el centro de malla de la esquina, método simplificado, V
$E_s$	Voltaje de paso entre un punto arriba de la esquina exterior de la cuadrícula y a 1m de la diagonal exterior de la cuadrícula por el método simplificado, V
$E_{step50}$	Voltaje de paso tolerado por el humano con 50 kg de peso del cuerpo, V
$E_{step70}$	Voltaje de paso tolerado por el humano con 70 kg de peso del cuerpo, V
$E_{touch50}$	Voltaje de toque tolerado por el humano con 50 kg de peso del cuerpo, V
$E_{touch70}$	Voltaje de toque tolerado por el humano con 70 kg de peso del cuerpo, V
$E_{mm-touch50}$	Voltaje de toque de metal a metal tolerado por el humano con 50 kg de peso, V

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>
<i>Emm-touch70</i>	Voltaje de toque de metal a metal tolerado por el humano con 70 kg de peso, V
<i>H</i>	Profundidad de enterramiento de los conductores de la cuadrícula, m
<i>Hs</i>	Espesor de la capa de material superficial, m
<i>IG</i>	Corriente máxima de cuadrícula que fluye entre la cuadrícula y el suelo que la rodea, A
<i>Ig</i>	Corriente de cuadrícula simétrica, A
<i>K</i>	Factor de reflexión entre las diferentes resistividades
<i>Kh</i>	Factor de corrección que enfatiza los efectos de la profundidad, método simplificado
<i>Ki</i>	Factor de corrección para la geometría de la cuadrícula, método simplificado
<i>Kii</i>	Factor de corrección que ajusta los efectos de los conductores interiores sobre la malla de la esquina, método simplificado
<i>Km</i>	Factor de espaciamiento para el voltaje de malla ( <i>Em</i> ), método simplificado
<i>Ks</i>	Factor de espaciamiento para el voltaje de paso ( <i>Es</i> ), método simplificado
<i>Lc</i>	Longitud total del conductor de cuadrícula, m
<i>LM</i>	Longitud efectiva $Lc + LR$ para el voltaje de malla ( <i>Em</i> ), m

Símbolo	Descripción
$LR$	Longitud total de las varillas de tierra, m
$Lr$	Longitud de una varilla de tierra en cada punto, m
$LS$	Longitud efectiva $Lc + LR$ para el voltaje de paso ( $Es$ ), m
$LT$	Longitud efectiva total del conductor del sistema de tierra, de cuadrícula y varillas, m
$Lx$	Longitud máxima de conductor de la cuadrícula en la dirección x, m
$Ly$	Longitud máxima de conductor de la cuadrícula en la dirección y, m
$N$	Factor geométrico compuesto de los factores $na, nb, nc$ y $nd$
$nR$	Número de varillas instaladas en el área A
$Rg$	Resistencia del sistema de tierra, $\Omega$
$Sf$	Factor de división de corriente
$Tc$	Duración de la corriente de falla para el dimensionamiento del conductor, s
$Tf$	Duración de la corriente de falla para determinar el factor de decremento, s
$Ts$	Duración del choque eléctrico para determinar la corriente de cuerpo tolerable, s

Nota. Tomado de IEEE 80-2000

### **Consideraciones de las normativas para la instalación de puestas a tierra.**

Las siguientes consideraciones son tomadas de las normativas vigentes (NEC Y NOM-001- SEDE).

- “No es permitido el uso de aluminio en los electrodos de las puestas a tierra”.
- La NEC afirma: “Cuando por requerimientos de un edificio existan varias puestas a tierra, todas ellas deben estar interconectadas eléctricamente, para tener un mismo nivel de potencial” (NEC, 2010).
- Se permite utilizar bobinas de choque (descargadores equipotenciales) aprobado por la NEC para cumplir con lo mencionado anteriormente.
- La norma NOM-001-SEDE-2012 Artículo 250-53 (b) indica. “Cada electrodo de un sistema de puesta a tierra no debe estar a menos de 1.80 m de cualquier otro electrodo de otro sistema de puesta a tierra. Pero lo más recomendable es que la distancia entre electrodos de puesta a tierra debe ser como mínimo, el doble de la longitud del electrodo”.
- La norma NOM-001-SEDE-2012 Artículo 250-53 (b) indica. “Dos o más electrodos de puesta a tierra que están unido entre sí, se considera como un solo sistema de electrodos de puesta a tierra”.
- La longitud de enterramiento de los electrodos de tierra debe ser mínimo de 0.50 m de profundidad”.
- La sección 250-56 del NEC demanda que los electrodos artificiales o fabricados, tenga una resistencia a tierra  $\leq$  a 25  $\Omega$ .
- En la NEC capítulo 15, sección 1.10.2.2 menciona. “El punto de unión entre el conductor del electrodo de puesta a tierra y la puesta a tierra debe ser accesible y hacerse con soldadura exotérmica. Se debe dejar en la ubicación de al menos una de las varillas un

pozo de revisión que quedará accesible para poder tomar medidas de la puesta a tierra, chequear su estado en el futuro y dar mantenimiento”.

- En la NEC capítulo 15, sección 15.1.10.2.1.4 recomienda. “El electrodo tipo varilla o tubo debe tener mínimo 1,8 m de longitud”.

Los principales estándares para diseñar una puesta a tierra se presentan a continuación (American National Standards Institute, 2020).

ANSI/IEEE Std. 81-1983 “Razón de aterrizamiento para sistemas eléctricos de baja tensión”. Esta norma establece los requisitos para el diseño de una buena puesta a tierra y se aplica a sistemas eléctricos de baja tensión. (American National Standards Institute, 2020)

“Especificaciones de Diseño para Sistemas de Puesta a Tierra”. Esta norma especifica los requisitos de diseño para un sistema de puesta a tierra eficiente y se aplica a sistemas eléctricos de baja y media tensión” (ANSI/IEEE Std. 141-1993).

“Código de Puesta a Tierra para Sistemas Eléctricos de Potencia”. Esta norma establece los códigos de seguridad para los sistemas de puesta a tierra de potencia (ANSI/IEEE Std. 142-1991).

“Conexión a Tierra para Protección de los Equipos Eléctricos”. Esta norma establece los requisitos para la conexión a tierra de los equipos eléctricos para protegerlos contra los efectos dañinos de la electricidad estática, las descargas eléctricas y los campos electromagnéticos externos (ANSI/IEEE Std. 145-1993).

Las Normas IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) son un conjunto de estándares y guías de ingeniería usadas para el diseño y evaluación de sistemas eléctricos y electrónicos. Estos estándares se aplican ampliamente en todos los campos de la ingeniería eléctrica, desde la electricidad doméstica hasta la computación (Norma IEEE 80, 2000).

La puesta a tierra es un medio de conectar una fuente de energía eléctrica con la tierra para disminuir los riesgos de descargas eléctricas. Esta conexión permite la disipación

de corrientes de fuga a tierra en caso de un fallo en el sistema, lo que reduce el riesgo de choque eléctrico y daños en los equipos (Norma IEEE 80, 2000).

La Norma IEEE Std. 80-2000 se centra en la seguridad, y establece los requisitos para una adecuada instalación y verificación de sistemas de puesta a tierra. Estos requisitos incluyen los siguientes:

- **Diseño:** La norma define los parámetros necesarios para diseñar un sistema de puesta a tierra, como la resistencia de puesta a tierra, los materiales a utilizar y los métodos de instalación (Norma IEEE 80,2000).
- **Materiales:** La norma establece los materiales recomendados para la puesta a tierra, y los requisitos mínimos de resistencia a la corrosión.
- **Verificación:** Se establecen los procedimientos para la verificación de la instalación de un sistema de puesta a tierra, incluyendo los requerimientos para la medición de la resistencia de puesta a tierra (Norma IEEE 80,2000).

La Norma IEEE Std. 80-2000 es un documento ampliamente aceptado en la industria eléctrica, que proporciona una guía para el diseño y verificación de sistemas de puesta a tierra seguros y confiables (Norma IEEE 80,2000).

Las normas IEEE son una de las principales herramientas utilizadas para el estudio de puestas a tierra en Ecuador. Estas normas ofrecen un marco de referencia para el diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas de puesta a tierra. Estas normas proporcionan orientación y directrices para garantizar la seguridad y el excelente rendimiento de los sistemas de puesta a tierra. El objetivo de esta revisión es establecer el marco teórico normativo de las normas IEEE usadas para el estudio de puestas a tierra en Ecuador.

En conclusión, las normas IEEE son una de las principales herramientas utilizadas para el estudio de puestas a tierra en Ecuador. Estas normas ofrecen un marco de referencia para el diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas de puesta a tierra. La Norma IEEE

80 y la Norma IEEE 81 son las principales normas utilizadas para el estudio de puestas a tierra en Ecuador. Estas normas proporcionan una orientación y directrices útiles para garantizar la seguridad y el excelente rendimiento de los sistemas de puesta a tierra (Norma IEEE 80, 2000).

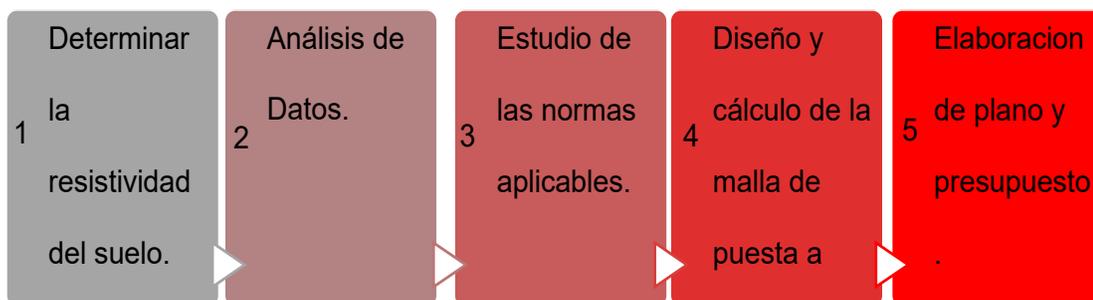
## Capítulo III

### Metodología para el diseño de un sistema de puesta a tierra

Para determinar un estudio de campo inicial y presentar soluciones para los problemas que se vienen dando en la Radio Latacunga, se abordará los pasos que se pueden observar en la Figura 36.

#### Figura 36

*Metodología para el diseño de puesta a tierra*



#### Medición de la resistividad del terreno

La resistividad del terreno es un factor muy importante dentro de la construcción de una malla ya que este variable afecta directamente sobre el valor de la resistencia de la puesta a tierra, por esta razón es que se debe previamente realizar mediciones para determinar la resistividad del terreno, donde se quiera construir una malla de tierra y, en el caso de obtenerse valores altos o no deseados, se debe de tener un tratamiento previo de la tierra.

El método utilizado para medir la resistividad del terreno fue el de Wenner. Se empleó el analizador de terrenos digital modelo MI 3123, marca METREL (ver Figura 37).

**Figura 37**

*Medidor de resistencia de tierra y resistividad, Marca METREL, modelo MI 3121.*



### ***Procedimiento para medir la resistividad del suelo***

**Primero:** Identificamos el área en la cual se va a realizar las mediciones, en este caso Radio Latacunga se encuentra funcionando en un lugar patrimonial, y su piso está cubierto por piedras, por lo cual se elige un jardín para poder diseñar la puesta a tierra, el área mencionada y su ubicación se puede observar en las Figura 38 y Figura 39.

**Figura 38**

*Ubicación de puesta a tierra.*



**Figura 39**

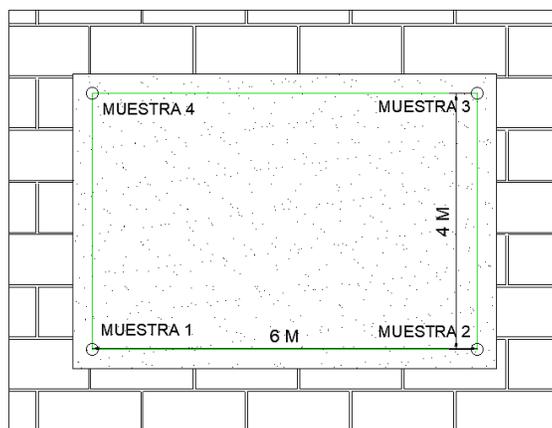
*Área de puesta a tierra.*



**Segundo.** Medimos el área en la cual se proyectará la malla de puesta a tierra, se realiza un plano para poder señalar las muestras que se van a tomar como referencia para realizar las mediciones como se muestra en la Figura 40.

**Figura 40**

*Plano de toma de muestras para medición de la resistividad.*

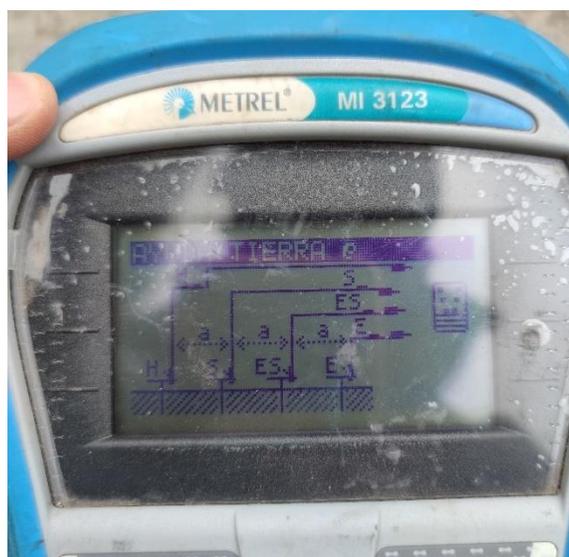


**Tercero.** Se procede a revisar que el equipo este en buenas condiciones, para poder realizar las mediciones de resistividad de cada muestra por el método de Wenner con el equipo

Marca METREL, modelo MI 3121, el cual en una de sus opciones como ayuda nos permite visualizar en su pantalla la conexión que se debe realizar para este método, véase la Figura 41.

### Figura 41

*Diagrama del método de Wenner.*



**Cuarto.** Se realiza la colocación de las picas partiendo de cada punto de muestra a 1 metro de distancia, después a 2 metros, en este caso tenemos un piso en el cual no se puede clavar las picas por lo cual se utiliza un método descrito en la siguiente norma.

La norma IEEE 80 describe el ensayo de resistividad terrestre Método de placa para la medición de la resistividad de un terreno no conductor. Esta norma describe el dispositivo de la placa comúnmente utilizado para medir los valores de resistividad y describe los procedimientos necesarios para hacer mediciones precisas.

Se usa una variación del método ya que no se cuenta con las placas de cobre, se procede a mojar unas toallas con agua y envolver cada pica y ponerlas en el suelo para que puedan tener mejor contacto con la superficie.

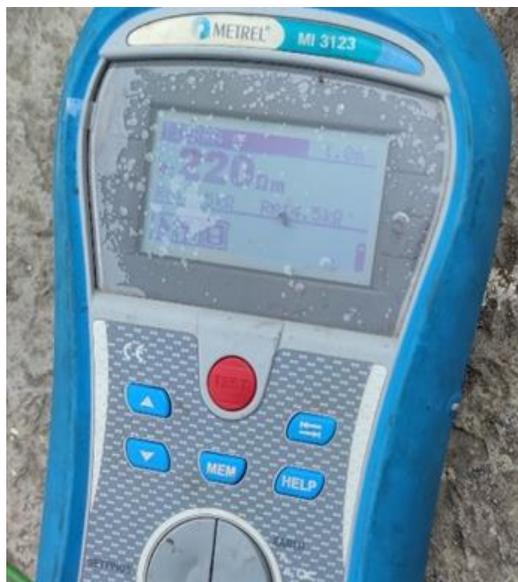
En la Figura 42 se puede observar la colocación de las picas.

**Figura 42***Colocación de Picas*

En las figuras 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49 y 50 se observan los datos obtenidos con el telurómetro.

**Figura 43**

*Medición de la muestra 1 a 1m*

**Figura 44**

*Medición de la muestra 2 a 1m*



**Figura 45**

*Medición de la muestra 3 a 1m.*

**Figura 46**

*Medición de la muestra 4 a 1m.*

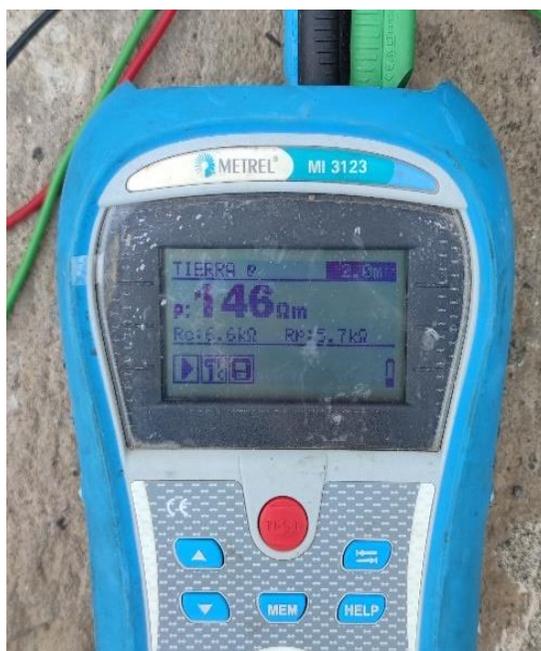


**Figura 47**

*Medición de la muestra 1 a 2m.*

**Figura 48**

*Medición de la muestra 2 a 2m.*

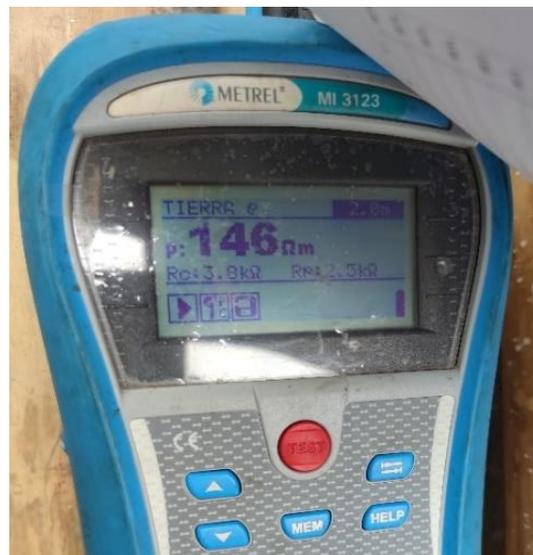


**Figura 49**

*Medición de la muestra 3 a 2m.*

**Figura 50**

*Medición de la muestra 4 a 2m*



**Quinto.** Se tabulan los valores obtenidos de la medición de acuerdo al número de muestra y la distancia.

**Tabla 5**

*Valores de resistividad del terreno.*

<b>Muestra</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega \cdot m</math>) a 1 metro</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega \cdot m</math>) a 2 metro</b>
<b>1</b>	220	152
<b>2</b>	195	146
<b>3</b>	204	134
<b>4</b>	173	146
<b>Resistividad Promedio</b>	198	145

**Sexto.** Para los diferentes análisis, se trabajará con una resistividad de 198 ( $\Omega \cdot m$ ), que es el valor más crítico de acuerdo con la Tabla 5.

### **Diseño de la Malla de puesta a tierra según la normativa IEEE 80-2000**

#### ***Cálculo de los parámetros de la puesta a tierra***

Se procede a realiza los cálculos según la normativa IEEE 80-2000, detallando las ecuaciones que se utilizan, reemplazando los valores obtenidos del levantamiento de información y las mediciones realizadas de resistividad respectivamente.

#### ***Datos obtenidos del estudio***

Las características del transformador se detallan en la tabla 6, datos que servirán para los posteriores cálculos.

**Tabla 6**

*Datos de placa del transformador.*

<b>Características</b>	<b>Especificaciones</b>
Marca	ECUATRAN S. A
Serie	0460700
Año de fabricación	2000
Impedancia MT/BT	2,54

<b>Características</b>	<b>Especificaciones</b>
Frecuencia	60 Hz
Potencia Nom. KVA	75
Operación m.s.n.m	3000
No. Fases	3
Líquido aislante	Aceite
Tensión de entrada	13800 V
Tensión Baja Tensión	220 V
Corriente en Baja Tensión	196,8 A
Conexión	DY5

A continuación, se detalla los datos de la malla de puesta a tierra proyectada.

Valor de la resistividad medida

$$\rho = 198 \Omega \cdot m$$

Esta resistividad es un valor alto para poder mejorar la resistividad del terreno se debe realizar un tratamiento químico al terreno para poder obtener una resistividad de  $70 \Omega \cdot m$ , el tratamiento que se debe realizar será el mencionado en el apartado 2.6.1.3.

Valor de la resistividad proyectada

$$\rho = 70 \Omega \cdot m$$

$$A = 8 \times 8 \text{ (m)} = 64 \text{m}^2$$

$$h = 0.50$$

$$t_s = 30 \text{ ciclos} = 0.5 \text{s}$$

Usamos las Ecuaciones 2, 3, 4 y 5, reemplazamos los valores respectivamente, para poder hallar los valores de las corrientes.

### **Cálculo del calibre del conductor**

Con los datos del transformador, se utiliza las ecuaciones: 2, 3, 4 y 5, para obtener la corriente de corto circuito  $I_{cc}$ .

**Ecuación 4***Corriente del secundario*

$$I_{sec} = \frac{kVA \times 1000}{\sqrt{3} \times V_{BT}}$$

Donde:

*kVA* = potencia del transformador*V<sub>BT</sub>* = Voltaje de Baja

Reemplazamos los valores en la ecuación 4.

$$I_{sec} = \frac{75 \times 1000}{\sqrt{3} \times 220v}$$

$$I_{sec} = 196.82 A$$

**Ecuación 5***Corriente de cortocircuito máxima del secundario.*

$$I_{cc-max-sec} = \frac{100\%}{Z\%} I_{sec}$$

Donde:

*I<sub>cc-max-sec</sub>* = Corriente de cortocircuito máxima del secundario.*Z%* = Impedancia del transformador*I<sub>sec</sub>* = Corriente de cortocircuito del secundario

Reemplazamos los valores en la ecuación 5.

$$I_{cc-max-sec} = \frac{100\%}{2.54\%} 196.82A$$

$$I_{cc-max-sec} = 7748.81 A$$

## Ecuación 6

*Corriente de cortocircuito asimétrica.*

$$I_{cc-asim} = I_{cc-max-sec} * F_{asim}$$

Donde:

$I_{cc-asim}$  = Corriente de cortocircuito asimétrica.

$I_{cc-max-sec}$  = Corriente de cortocircuito máxima del secundario

$F_{asim}$  = Factor de asimetría

El factor de asimetría ( $F_{asim}$ ) es 1.25, obtenida de la relación X/R en el punto de falla.

La información se encuentra en el capítulo 6 de la IEEE Std 141-1986.

Reemplazamos valores en la ecuación 6.

$$I_{cc-asim} = 7748.81 A * 1.25$$

$$I_{cc-asim} = 9686.01 A$$

## Ecuación 7

*Corriente máxima de cortocircuito del primario.*

$$I_{cc-max-pri} = \frac{\sqrt{3} * V_{BT}}{V_{AT}} * I_{cc-max-sec}$$

Donde:

$I_{cc-max-pri}$  = Corriente máxima de cortocircuito del primario.

$V_{BT}$  = Voltaje del lado de Baja tensión

$V_{AT}$  = Voltaje del lado de Alta tensión

$I_{cc-max-sec}$  = Corriente máxima de cortocircuito del secundario.

Reemplazamos los valores en la ecuación 7.

$$I_{cc-max-pri} = \frac{\sqrt{3} * 220V}{13800V} * 7748.81 A$$

$$I_{cc-max-pri} = 213.96 A$$

En la ecuación 8,  $Kf$  se obtiene de la tabla 7, considerando que el material a usar es cobre duro, utilizando suelda exotérmica.

**Tabla 7**

*Constantes para los materiales de conductores.*

Material	Conductividad (%)	Temperatura de fusión Tm (°C)	Kf
Cobre blando	100	1083	7
Cobre duro se utiliza soldadura exotérmica	97	1084	7.06
Cobre duro cuando se utilizan conexiones mecánicas a presión	97	250	11.78
Alambre de acero recubierto de cobre	40	1084	10.45
Alambre de acero recubierto de cobre	30	1084	12.06
Varilla de acero recubierto de cobre	20	1084	14.64
Aluminio de calidad EC	61	657	12.12
Aleación de aluminio 5005	53.5	652	12.41
Aleación de aluminio 6201	52.5	654	12.47
Alambre de aluminio revestido en acero	20.3	657	17.2

Material	Conductividad (%)	Temperatura de fusión Tm (°C)	Kf
Acero 1020	10.8	1510	15.95
Varilla de acero galvanizado	9.8	1400	14.72
Varilla de acero con baño de zinc	8.6	419	28.96
Acero inoxidable 304	2.4	1400	30.05

Nota. Tomado de (IEEE Std.80, 2000)

### Ecuación 8

Calibre del conductor de la malla de tierra.

$$A_{\text{kcmil}} = I_{\text{falla}} * kf * \sqrt{ts} [mm^2]$$

Donde:

$A_{\text{kcmil}}$  = Calibre del conductor de la malla de tierra.

$I_{\text{falla}}$  = Corriente de falla.

Considere que 1 kcmil es igual a 0.507 mm<sup>2</sup> y  $t_c = 0.50$  s a 30 ciclos, es el común valor utilizado para los diseños de mallas.

Reemplazamos los valores en la ecuación 8.

$$A_{\text{kcmil}} = 9.68 * 7.06 * \sqrt{0.5} [mm^2]$$

$$A_{\text{kcmil}} = 48.32 [mm^2]$$

$$48.32 * 0.507 = 24.49 [mm^2]$$

El valor obtenido en Kcmil es igual a 24.49 mm<sup>2</sup>, se selecciona el calibre del conductor de acuerdo a la tabla 8. Se considera el valor próximo y no menor al calculado en el área nominal del conductor.

**Tabla 8***Conductor de puesta a tierra.*

Calibre del conductor		Área nominal (mm <sup>2</sup> )	Diámetro (mm)
AWG	Nº Hilos		
4	7	21.15	5.88
2	7	33.63	7.41
1/0	7	53.51	9.36
2/0	7	67.44	10.51
3/0	7	85.03	11.8
4/0	7	107.02	13.25

*Nota.* Fuente: (CONELSA)

En este caso se debería elegir el calibre 2 AWG.

### **Límite de tensión de toque y de paso**

Para limitar las tensiones peligrosas, se utilizan las ecuaciones: 9 y 10 considerando para los cálculos una persona de 70 Kg. Al no tener ninguna capa protectora  $C_s = 1$  y  $\rho_s = \rho$ .

### **Ecuación 9**

*Voltaje de paso tolerable.*

$$V_{paso\ tolerable} = \frac{(1000 + 6 * C_s * \rho_s) * 0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Donde:

$V_{paso\ tolerable}$  = Voltaje de paso tolerable.

$\rho_s$  = Resistividad del terreno

Reemplazamos valores en la ecuación 9.

$$V_{paso\ tolerable} = \frac{(1000 + 6 * 1 * 70) * 0.157}{\sqrt{0.5}}$$

$$V_{paso\ tolerable} = 315.28\ V$$

## Ecuación 10

Voltaje de toque tolerable.

$$V_{\text{contacto tolerable}} = \frac{(1000 + 1.5 * C_s * \rho_s) * 0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Donde:

$V_{\text{paso tolerable}}$  = Voltaje de paso tolerable.

$\rho_s$  = Resistividad del terreno

Reemplazamos los valores en la ecuación 10.

$$V_{\text{contacto tolerable}} = \frac{(1000 + 1.5 * 1 * 70) * 0.157}{\sqrt{0.5}}$$

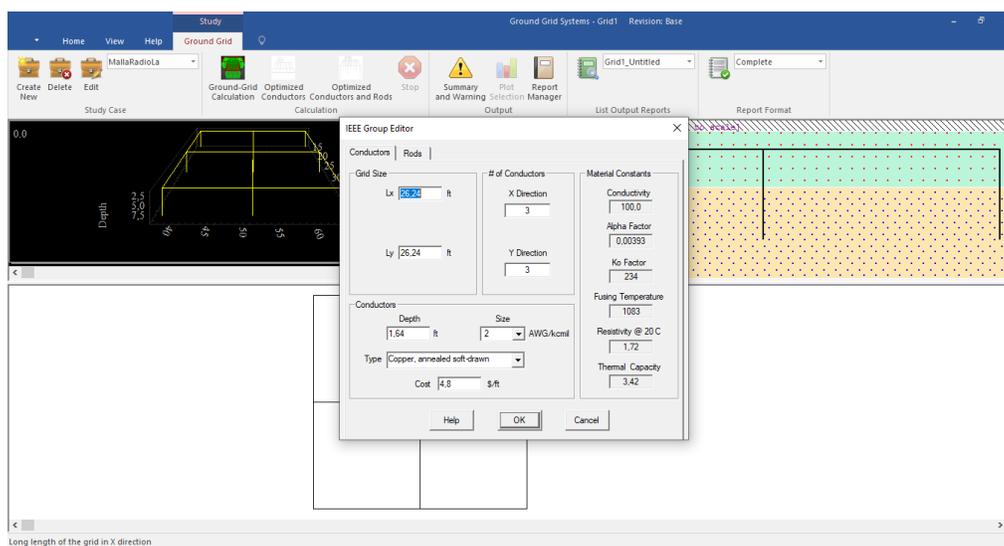
$$V_{\text{contacto tolerable}} = 245.34 \text{ V}$$

## Diseño de malla

En esta parte se usó el programa ETAP 19 para poder encontrar la configuración ideal la Malla de puesta a tierra para el espacio que se dispone, en las Figuras 51, 52, 53 y 54 se puede observar capturas de pantalla del programa ETAP 19.

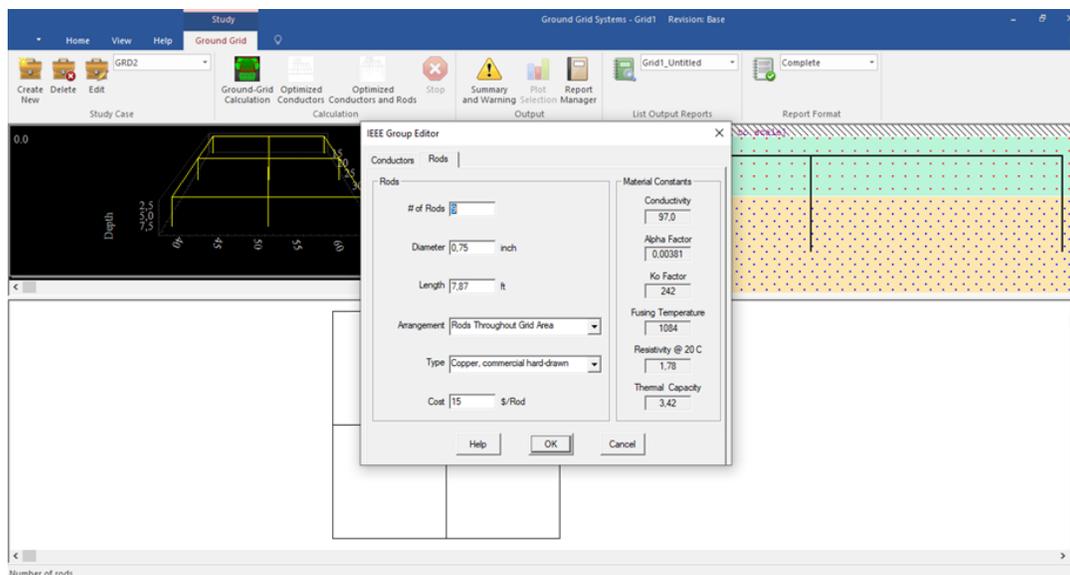
### Figura 51

Ingreso de Datos de dimensiones de la malla en ETAP 19.



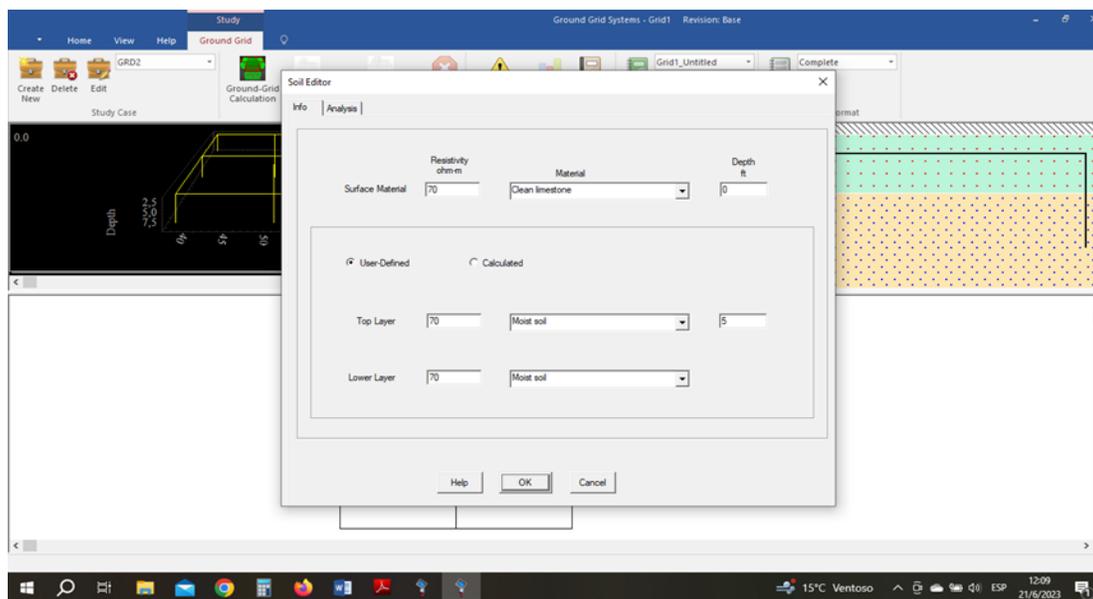
**Figura 52**

*Ingreso de datos de electrodos de la malla en ETAP 19.*



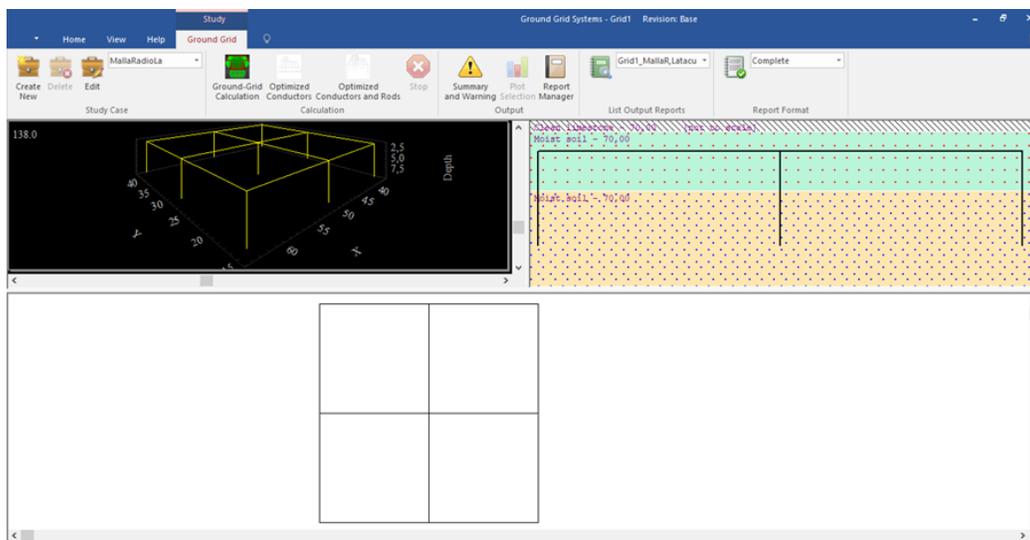
**Figura 53**

*Ingreso de datos de resistividad del terreno en ETAP 19.*



**Figura 54**

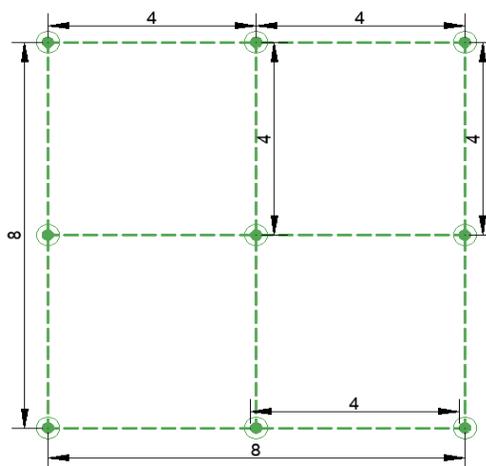
*Diseño de malla de puesta a tierra en el programa ETAP 19.*



Después de realizar la simulación en el programa ETAP 19 el diseño de la malla queda con la configuración y los valores que se observan en la figura 55.

**Figura 55**

*Configuración de malla de puesta a tierra proyectada.*



$$L_x = 8 \text{ m}$$

$$L_y = 8 \text{ m}$$

$$L_p = 64 \text{ m}$$

$$D = 4 \text{ m}$$

$$N = 9$$

$$L_V = 2.4 \text{ m}$$

Para calcular la longitud de los conductores se emplea las ecuaciones 9 y 10

### Ecuación 11

*Longitud de los conductores.*

$$L_C = \left(\frac{L_x}{D} + 1\right) * L_y + \left(\frac{L_y}{D} + 1\right) * L_x \text{ [m]}$$

En donde:

$L_C$ = Longitud de los conductores.

$L_x$ = Ancho de la malla.

$L_y$ = Largo de la malla.

$D$ = Espaciamiento de la malla.

Reemplazamos los valores en la ecuación 11.

$$L_C = \left(\frac{8}{4} + 1\right) * 8 + \left(\frac{8}{4} + 1\right) * 8 \text{ [m]}$$

$$L_C = 48 \text{ [m]}$$

### Ecuación 12

*Longitud total de la malla.*

$$L_T = L_C + N * L_V \text{ [m]}$$

En donde:

$L_T$ = Longitud total de la malla

$L_C$ = Longitud total de los conductores.

$N$ = Numero de varillas

$L_V$ = Longitud de Varilla

Reemplazamos

$$LT = 48 + 9 * 2.40 [m]$$

$$LT = 69.6 [m]$$

### **Cálculo de resistencia de la malla de puesta a tierra ( $R_g$ )**

Para determinar la resistencia de una malla de tierra ( $R_g$ ), combinando resistencias de: las varillas y del suelo, se utiliza la fórmula de Schwarz (ecuación 11):

#### **Ecuación 13**

*Resistencia de puesta a tierra*

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - (R_m)^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

Donde:

$R_1$ = Resistencia del conductor

$R_2$ =Resistencia de todas las varillas

$R_m$ =Resistencia mutua entre  $R_1$  y  $R_2$

Para calcular  $R_1$  se utiliza la ecuación 12

#### **Ecuación 14**

*Resistencia de tierra de la malla.*

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi Lc} \left[ \ln \left( \frac{2Lc}{a'} \right) + K_1 + \left( \frac{Lc}{\sqrt{A}} \right) - K_2 \right]$$

Donde:

$R_1$ = Resistencia del conductor

$\rho$ = Resistividad del terreno

$Lc$ = Longitud total de los conductores.

$A$ = Area del conductor

$K_1$ = coeficiente de Kerckel

$K_2$ = coeficiente de Kerckel

Reemplazamos los valores en la ecuación 14

$$R_1 = \frac{70}{\pi 48} \left[ \ln \left( \frac{2(48)}{\sqrt{0.01 \cdot 0.5}} \right) + 1.36 + \left( \frac{48}{\sqrt{64}} \right) - 6.33 \right]$$

$$R_1 = 3.82 \Omega$$

Se puede calcular los valores  $K_1$  y  $K_2$  mediante las fórmulas de Kerckel (ecuaciones 13 y 14) por ser más exactas.

### Ecuación 15

*Coefficiente  $K_1$  calculado por la ecuación de Kerckel.*

$$K_1 = \frac{\sqrt{Lx \cdot Ly}}{2} * 1.84 \left[ \frac{1}{Lx} * \ln \left( \frac{Lx + \sqrt{Lx^2 + Ly^2}}{Ly} \right) + \frac{1}{Ly} * \ln \left( \frac{Ly + \sqrt{Lx^2 + Ly^2}}{Lx} \right) + \frac{Lx}{3(Ly)^2} + \frac{Ly}{3(Lx)^2} - \frac{((Lx)^2 + (Ly)^2)}{3(Lx)^2(Ly)^2} * \sqrt{Lx^2 + Ly^2} \right]$$

Donde:

$K_1$ = Coeficiente de Kerckel

$Lx$ = Longitud de la malla en x

$Ly$ = Longitud de la malla en y

Reemplazamos en la ecuación 15.

$$K_1 = \frac{\sqrt{8 \cdot 8}}{2} * 1.84 \left[ \frac{1}{8} * \ln \left( \frac{8 + \sqrt{8^2 + 8^2}}{8} \right) + \frac{1}{8} * \ln \left( \frac{8 + \sqrt{8^2 + 8^2}}{8} \right) + \frac{8}{3(8)^2} + \frac{8}{3(8)^2} - \frac{((8)^2 + (8)^2)}{3(8)^2(8)^2} * \sqrt{8^2 + 8^2} \right]$$

$$K_1 = 1.36$$

### Ecuación 16

*Coefficiente  $K_2$  calculado por la ecuación de Kerckel.*

Donde:

$K_2$ = Coeficiente de Kerckel

$Lx$ = Longitud de la malla en x

$Ly$ = Longitud de la malla en y

Reemplazamos en la ecuación 16.

$$K_2 = \ln\left(\frac{4(Lx+Ly)}{Ly}\right) + 2K_1 \frac{(Lx+Ly)}{\sqrt{Lx*Ly}} - \frac{\ln\left(Lx + \sqrt{(Lx)^2 + \left(\frac{Ly}{2}\right)^2}\right)}{\frac{Ly}{2}} - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{\left(\frac{Ly}{2}\right) + \sqrt{(Lx)^2 + \left(\frac{Ly}{2}\right)^2}}{\left(-\frac{Ly}{2}\right) + \sqrt{(Lx)^2 + \left(\frac{Ly}{2}\right)^2}}\right)$$

$$K_2 = \ln\left(\frac{4(8+8)}{8}\right) + 2(1.36) \frac{(8+8)}{\sqrt{8*8}} - \frac{\ln\left(8 + \sqrt{(8)^2 + \left(\frac{8}{2}\right)^2}\right)}{\frac{8}{2}} - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{\left(\frac{8}{2}\right) + \sqrt{(8)^2 + \left(\frac{8}{2}\right)^2}}{\left(-\frac{8}{2}\right) + \sqrt{(8)^2 + \left(\frac{8}{2}\right)^2}}\right)$$

$$K_2 = 6.33$$

### Ecuación 17

*Resistencia de las varillas de tierra.*

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi N Lv} \left[ \ln\left(\frac{8Lv}{b}\right) - 1 + 2K_1 + \left(\frac{Lv}{\sqrt{A}}\right) - (\sqrt{N} - 1)^2 \right]$$

Donde:

$R_2$  = Resistencia de las varillas de tierra

$\rho$  = Resistividad del terreno

$Lv$  = Longitud de las varillas

$A$  = Área del conductor

$K_1$  = coeficiente de Kerckel

$N$  = Numero de varilla.

Reemplazamos los valores en la ecuación 17

$$R_2 = \frac{70}{2\pi * 9 * 2.40} \left[ \ln\left(\frac{8 * 2.40}{0.015875}\right) - 1 + 2 * 1.36 + \left(\frac{2.40}{\sqrt{64}}\right) - (\sqrt{9} - 1)^2 \right]$$

$$R_2 = 2.63 \Omega$$

### Ecuación 18

*Resistencia de tierra mutua entre la malla y las varillas.*

$$R_m = \frac{\rho}{\pi Lc} \left[ \ln\left(\frac{2Lc}{Lv}\right) + K_1 \left(\frac{Lc}{\sqrt{A}}\right) - K_2 + 1 \right]$$

Donde:

$R_m$  = Resistencia de tierra mutua entre la malla y las varillas.

$\rho$  = Resistividad del terreno

$L_c$  = Longitud del conductor

$A$  = Área del conductor

$L_v$  = Longitud de la varilla

$K_2$  = coeficiente de Kerckel.

Reemplazamos los valores en la ecuación 18.

$$R_m = \frac{70}{\pi 48} \left[ \ln \left( \frac{2 * 48}{2.40} \right) + 1.36 \left( \frac{48}{\sqrt{64}} \right) - 6.33 + 1 \right]$$

$$R_m = 3.02 \Omega$$

Para encontrar la resistencia de puesta a tierra reemplazamos los datos en la ecuación

11.

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - (R_m)^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

Donde:

$R_1$  = Resistencia del conductor

$R_2$  = Resistencia de todas las varillas

$R_m$  = Resistencia mutua entre  $R_1$  y  $R_2$

Reemplazamos los valores en la ecuación.

$$R_g = \frac{3.82 * 2.63 - (3.02)^2}{3.82 + 2.63 - 2(3.02)}$$

$$R_g = 2.25 \Omega$$

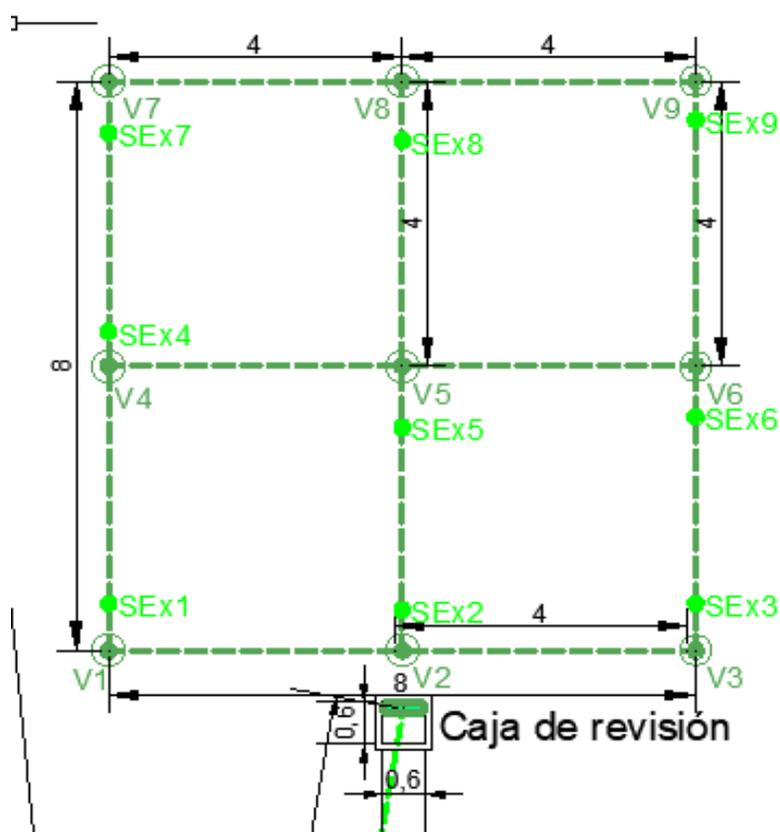
La resistencia obtenida es la óptima ya que se encuentra por debajo de los  $5 \Omega$  requeridos por la norma IEEE.

### Elaboración de planos para la construcción de la malla de puesta a tierra

Se elaboran los planos en base a los cálculos realizados en la figura 56, podemos observar que la malla de puesta a tierra es cuadrada de 8m x 8m, el conductor que se usara será de cobre desnudo 2 AWG, contara con 9 varillas de Copperweld de 3 metros de largo y 5/8" de diámetro, se usaran aproximadamente 9 sueldas exotérmicas de 115 gramos, contara con una caja de revisión de 60cm x 60cm, los planos se anexan en el presente documento.

#### Figura 56

*Plano de malla de puesta a tierra proyectada*



La malla de puesta a tierra se deberá construir en el lugar del garaje, ahí existe un espacio que corresponde al jardín y se debe aprovechar para que se implemente la malla, ya que las instalaciones de radio Latacunga funcionan en un lugar patrimonial y está construido con un piso de piedras, en la figura 57 podemos observar la malla de puesta a tierra en el

garaje y el trayecto del conductor 2awg desnudo que ira dentro de una manguera negra de pvc de 1", manguera que ira enterrada, hasta el tablero de distribución principal en el cual se conectara la referencia de la tierra la cual deberá ser llevada a su vez a cada tomacorriente que requiera puesta a tierra.

**Figura 57**

*Plano de malla de puesta a tierra.*



**Presupuesto referencial para la construcción de la Malla de puesta a tierra.**

Para la implementación del sistema de puesta a tierra, se utilizaron algunos materiales, los cuales se enlistan en la tabla 9 con su respectivo costo.

**Tabla 9**

*Presupuesto referencial.*

<b>Costos primarios</b>				
<b>Descripción (materiales)</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cant.</b>	<b>P/U</b>	<b>Valor total</b>
Conductor desnudo 2 AWG 7 hilos	m	48	\$ 7,42	\$ 356,16
Varilla de puesta a tierra Copperweld, de 3 metros de largo y 5/8" de diámetro	c/u	9	\$ 21,00	\$ 189,00
Intensificador de terreno GEM (25 lbs)	sacos	12	\$ 22,00	\$ 264,00
Molde de grafito Cable-Varilla	c/u	1	\$168,64	\$ 169,64
Molde de grafito en Cruz	c/u	1	\$168,64	\$ 168,64
Pinzas de Manipulación de Moldes	c/u	2	\$223,86	\$ 447,72
Cápsula de soldadura. Cadweld Plus 115	c/u	20	\$ 7,50	\$ 150,00
Cajas de revision	c/u	4	\$ 11,00	\$ 44,00
<b>Valor de materiales total</b>				<b>\$ 1.789,16</b>
<b>Mano de obra civil</b>	<b>Días</b>	<b>Cant. Hombres</b>	<b>P/U</b>	<b>Valor total</b>
Excavación	5	8	\$15,00	\$600,00
Sellado de la excavación	1	2	\$15,00	\$ 30,00
<b>Valor de mano de obra total</b>				<b>\$630,00</b>
<b>Valor total de la construcción</b>				<b>2.419,16</b>

## Capítulo IV

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- Se determina mediante mediciones del terreno en el cual se proyecta la instalación de la malla de puesta a tierra un valor de 198 ( $\Omega \cdot m$ ), este valor es alto y se debe realizar el tratamiento del terreno para bajar la resistividad a un valor de 70 ( $\Omega \cdot m$ ).
- Después revisar y estudiar la normativa vigente se concluye que la norma IEEE Std. 80 2000 proporciona la metodología necesaria para aplicar en el diseño de la malla de tierra, siendo esta la adecuada.
- La utilización de software nos permite proyectar una malla de puesta a tierra con dimensiones adecuadas para las condiciones de terreno y la medida que queremos obtener.
- Se obtiene como resultado del estudio y los cálculos realizados un nivel de resistencia de la malla de puesta a tierra proyectado de 2.5 ohmios.
- Se elaboró los planos en el cual nos da como resultado una malla de puesta a tierra cuadrada de 8m x 8m, con 9 varillas Copperweld, el presupuesto para la construcción de la malla de puesta a tierra es de \$ 2.419,16 dólares americanos

## Recomendaciones

- Se debe ejecutar la obra de construcción de la malla de puesta a tierra según el diseño para poder garantizar el buen funcionamiento del sistema eléctrico y de telecomunicaciones de la estación de radio Latacunga.
- Se conectará el sistema de tierra de la toma corrientes que existan en las instalaciones de radio Latacunga a la malla de puesta a tierra.
- Debe colocarse al menos un pozo de revisión por malla para realizar mediciones y controles del estado de la misma.
- Ejecutar mantenimientos periódicos de la puesta a tierra una vez construida.

## Bibliografía

Ávila, P. (17 de 09 de 2019). *Equipos de puesta a tierra y Aislamientos*. Obtenido de Elvatron :

<https://www1.elvatron.com/equipos-de-puesta-a-tierra-y-aislamiento/7-consecuencias-de-un-mal-sistema-de-puesta-a-tierra>

ENSA . (02 de 04 de 2014). *Puesta a tierra*. Obtenido de

[https://www.ensa.com.pa/sites/default/files/no.ccom\\_.09.01\\_puesta\\_a\\_tierra\\_ver\\_02.pdf](https://www.ensa.com.pa/sites/default/files/no.ccom_.09.01_puesta_a_tierra_ver_02.pdf)

Ingeniería Electrica Viditec. (s.f.). *Medida de la resistencia de la toma de tierra*. Obtenido de

[https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie315\\_viditec\\_resistencia.pdf](https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie315_viditec_resistencia.pdf)

MSI. (06 de 09 de 2020). *Schneider Electric*. Obtenido de [https://msinet.com.ar/noticias/puesta-](https://msinet.com.ar/noticias/puesta-a-tierra-las-6-preguntas-mas-frecuentes/)

[a-tierra-las-6-preguntas-mas-frecuentes/](https://msinet.com.ar/noticias/puesta-a-tierra-las-6-preguntas-mas-frecuentes/)

Sinchi, F. M. (2017). *Diseño y determinacion de un sistema de puesta a tierra* .

Cuenca\_Ecuador.

Apliweld®, *Manual de uso de la soldadura exotérmica*. Recuperado el 15 de junio del 2023.

Obtenido de [https://at3w.com/upload/ficheros/manual\\_apliweld\\_interactivo.pdf](https://at3w.com/upload/ficheros/manual_apliweld_interactivo.pdf)

Ávila, (2019). *Equipos de puesta a tierra y aislamiento*. Recuperado el 15 de junio del 2023. Obtenido de <https://www1.elvatron.com/equipos-de-puesta-a-tierra-y-aislamiento/7-consecuencias-de-un-mal-sistema-de-puesta-a-tierra>

Bustamante Cuenca, J. A. (2011). *Evaluación y diagnóstico de la malla de puesta a tierra de la Subestación Obra pía con niveles de tensión de 69 KV y 13.8 K perteneciente a la E.E.R.S.S.A, para cumplir con los parámetros establecidos por la norma IEEE Std.80-2000 (Guide for Safety in AC Substation Grounding (Tesis de pregrado)*. Universidad Politécnica SALESIANA, Cuenca.

García, R. (1999). *La puesta a tierra de instalaciones eléctricas*.

IEEE Std 80-2000, *Guide for Safety in AC Substation Grounding*. Recuperado el 20 de mayo del 2023. Obtenido de [https://kupdf.net/download/80-2000-ieee-espantilde-ol\\_5af8157de2b6f5905b853dc5\\_pdf](https://kupdf.net/download/80-2000-ieee-espantilde-ol_5af8157de2b6f5905b853dc5_pdf)

Márquez, R. G. (1991). *La puesta a tierra de instalaciones eléctricas y el R.A.T.*  
Barcelona, España: MARCOMBO.

NEC2011. (s.f.). *NEC2011 Capítulo 15, Instalaciones Electromecánicas*. Recuperado el 23 de mayo de 2023. Obtenido de <https://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2017/09/NECINSTALACIONESELECTROMECHANICAS2013.pdf>

Pablo Díaz. (2001), “Soluciones Prácticas para la Puesta a Tierra de Sistemas Eléctricos de Distribución”, Editorial Mc Graw Hill 2001.

Procobre. (2013). *Sistemas de puesta a tierra*. recuperado el 24 de mayo del 2013. obtenido de <https://analfatecnicos.net/archivos/08.PuestaATierra.pdf>

Ramírez Castaño & Cano Plata. (2010). *SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA: Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF*. recuperado el 22 de junio de 2023 obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8215/eduardoantonioacanoplata.2010.pdf>

Tarazona Tinoco, E. I. (2008). *Prácticas y usos de puestas a tierra en redes eléctricas de baja tensión; Mejoramiento de las puestas a tierra - tratamiento mediante insumos químicos*.  
Lima: Universidad Nacional de Ingeniería

## Anexos