

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas  
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

## RECONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DEL EDIFICIO DE CARRERA DE ELECTRICIDAD

Trabajo de grado presentado ante la ilustre Universidad Técnica del Norte previo a la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico.

**Autor:**

Guel Quendi Magaly Milena

**Director:**

MSc. Quinde Cuenca Isabel Marina

**Asesores:**

PhD. Collaguazo Galeano Gerardo Isaías

MSc. Barzola Iza Jhonny Javier

Ibarra-Ecuador

2021



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100432964-3		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Guel Quendi Magaly Milena		
<b>DIRECCION:</b>	Imbabura-Ibarra, Hernán Gonzales de Saa y Princesa Cory Cory		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:mmquelq@utn.edu.ec">mmquelq@utn.edu.ec</a>		
<b>TELEFONO FIJO:</b>		<b>TELEFONO MÓVIL:</b>	0997916497

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	RECONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DEL EDIFICIO DE CARRERA DE ELECTRICIDAD
<b>AUTOR:</b>	Guel Quendi Magaly Milena
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	04/10/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> PREGADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniera en Mantenimiento Eléctrico
<b>ASESOR/ DIRECTOR:</b>	MSc. Quinde Cuenca Isabel Marina

## 2. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, declaro que la obra es original y que el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad en casa de reclamo por parte de terceros.

Ibarra, a los 04 días del mes de octubre del 2021

**EL AUTOR:**



.....  
Guel Quendi Magaly Milena

100432964-3



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR**

MSc. Quinde Isabel

**CERTIFICA**

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por la señorita estudiante: Guel Quendi Magaly Milena, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración de investigación titulado: **“RECONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DEL EDIFICIO DE CARRERA DE ELECTRICIDAD”**. Para la obtención de título de Ingeniera en Mantenimiento Eléctrico; aprobado la defensa, impresión y empastado



Firmado electrónicamente por:  
**ISABEL MARINA**  
**QUINDE CUENCA**

MSc. Quinde Isabel

DIRECTOR DE TESIS

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de tesis se lo dedico a toda mi familia, especialmente a mi padre que desde el cielo me estás guiándome y acompañándome y por eso le dedico este trabajo con todo mi corazón; y a mi madre por regalarme la vida y ser mi soporte fundamental en todo momento.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi mayor agradecimiento a Dios por haberme brindando la vida y salud en estos momentos difíciles, para culminar este proyecto de investigación.

Agradezco profundamente a mi padre que desde el cielo me cuida y guía siempre, donde en este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí, pero sus recuerdos y palabras me impulsaron a seguir adelante; mil gracias por estar siempre conmigo en los malos y buenos momentos.

A mi madre que siempre ha estado en el momento indicado para extenderme la mano, siempre escuchándome y dándome sus palabras de aliento y oraciones cuando más lo necesitaba y por inculcarme sus principios, que ahora son míos.

Infinitas gracias a toda mi familia, hermanos, sobrinas, amigos y a todas las personas que me han apoyado e involucrado de alguna manera en este proyecto; por brindarme su acompañamiento incondicional que me impulsaban a seguir y confiar en mí mismo.

A mi tutor MSc. Isabel Quinde por el apoyo incondicional y paciencia durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo. De igual manera al Dr. Gerardo Collaguazo por sus consejos, correcciones y rectitud como docente. Además, al MSc. Jonny Barzola por su conocimiento y motivación brindada a lo largo de mi carrera universitaria y a todos los docentes que conforman la Carrera de Electricidad.

Y por supuesto a la Universidad Técnica del Norte, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

## Tabla de contenido

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN .....	I
CONSTANCIA.....	II
ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR .....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT .....	XV
CONTEXTO .....	XVI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	XVII
JUSTIFICACIÓN .....	XVIII
ALCANCE .....	XIX
OBJETIVOS .....	XX
1.1    Introducción .....	1
1.2    Sistema de una puesta a tierra .....	1
1.3    Componente de un sistema de puesta a tierra .....	1
1.4    Configuración de la puesta a tierra .....	3
1.4.1    Sistema radial .....	3
1.4.2    Sistema anillo .....	3
1.4.3    Sistema de malla .....	3
1.5    Esquemas de conexión a tierra.....	3
1.6    Efectos de la electricidad en los seres humanos .....	4
1.6.1    Efectos fisiológicos .....	5
1.6.2    Tensión de contacto .....	6
1.6.3    Tensión de paso .....	7
1.6.4    Fallas por cortocircuito.....	7
1.7    Resistividad de terreno .....	8
1.7.1    Elementos que influyen en la resistividad del terreno.....	8
1.8    Métodos de medición de la resistividad del terreno .....	9
1.8.1    Método Wenner .....	10
1.8.2    Método de Schlumberger.....	10
1.8.3    Método Dipolo – Dipolo.....	11
1.9    Modelamiento del suelo .....	12

1.9.1	Modelo de suelo homogéneo.....	12
1.9.2	Modelo de suelo no homogéneo.....	13
1.10	Resistencia de la tierra .....	15
1.11	Valores recomendables de resistencia .....	15
1.12	Métodos de medición de la resistencia de la tierra .....	16
1.12.1	Método del 62% o caída de potencial.....	16
1.12.2	Método de Tagg.....	17
1.12.3	Método sin estacas.....	18
1.13	Métodos para reducir el valor de la resistencia de la tierra.....	19
1.13.1	Aumento del número de electrodos .....	19
1.13.2	Aumento de la profundidad del electrodo .....	19
1.13.3	Tratamiento químico del terreno .....	20
2.1	Procedimiento para el diagnóstico del sistema de puesta a tierra .....	21
2.2	Ubicación e identificación de los sistemas de puesta a tierra existentes ...	21
2.3	Información del equipo de medición de la resistencia de puesta a tierra ...	23
2.4	Análisis del estado actual de las puestas a tierra existentes .....	24
2.4.1	Descripción y medición de la puesta a tierra, bobina de tesla y laboratorios .....	24
2.4.2	Descripción y medición de la puesta a tierra de la red de entrenamiento de distribución Smart Grid.....	28
2.4.3	Descripción y medición de la puesta a tierra del sistema de generación solar fotovoltaica .....	30
2.5	Análisis general de las puestas a tierras existentes y mediciones de resistencia .....	33
2.6	Análisis de la carga instalada y fuente de suministro de energía.....	34
3.2.	Metodología para el diseño de la malla utilizando la IEEE Std 80-2013....	36
3.2.1	Datos de campo .....	38
3.2.2	Dimensionamiento calibre del conductor.....	38
3.2.3	Determinación de la tensión de toque y de paso.....	39
3.2.4	Diseño inicial de la malla de puesta a tierra .....	40
3.2.5	Determinación de la resistencia de la malla .....	41
3.2.6	Determinación de la corriente máxima de malla.....	41
3.2.7	Elevación del potencial de tierra “GPR” .....	41
3.2.8	Tensión de malla y la tensión real de paso .....	42



3.3	Cálculo de los parámetros para la malla .....	43
3.3.1	Determinación del área para la ubicación de la malla .....	44
3.3.2	Cálculo de la resistividad.....	44
3.3.3	Cálculo del calibre del conductor de tierra.....	45
3.3.4	Cálculo de los voltajes de paso y toque tolerables por una persona.....	46
3.3.5	Dimensionamiento de la malla de puesta a tierra.....	46
3.3.6	Cálculo de la resistencia de la malla .....	47
3.3.7	Cálculo de la corriente máxima que circula por la malla .....	47
3.3.8	Cálculo de la elevación del potencial de tierra “GPR” .....	47
3.4	Proceso de construcción de la nueva malla.....	48
3.4.1	Preparación del sitio.....	48
3.4.2	Excavación de zanjas y huecos para los electrodos, conductor y pozo .	48
3.4.3	Instalación de los electrodos y tendido de conductor .....	50
3.4.4	Tratamiento del suelo con GEM .....	51
3.4.5	Construcción pozo de revisión .....	53
3.4.6	Suelda exotérmico cable – electrodo y cable - cable .....	54
3.4.7	Instalación de la barra de tierra y grava en el pozo de revisión.....	55
3.5	Reconfiguración del sistema de puesta a tierra .....	56
3.5.1	Conexión de los sistemas de puesta a tierra existentes.....	56
3.5.2	Conexión del sistema de puesta a tierra reconfigurada hasta el tablero de distribución .....	59
3.5.3	Trabajo final de la reconfiguración del sistema de puesta a tierra.....	61
3.6	Análisis y medición de la resistencia de la malla nueva y del sistema de puesta a tierra reconfigurada.....	62
3.7	Diagrama de conexión de la reconfiguración del sistema de puesta a tierra existente. ....	67
3.8	Presupuesto para la reconfiguración del sistema de puesta tierra existente.	68
	CONCLUSIONES.....	69
	RECOMENDACIONES.....	70
	BIBLIOGRAFIA.....	71
	ANEXOS.....	73
	ANEXO A. Coeficientes para el método de Tagg. ....	73
	ANEXO B. Datos de las mediciones de la resistencia de puesta a tierra. ....	73

ANEXO C. Datos de resistencia y resistividad .....	74
ANEXO D. Método de Sunde .....	75
ANEXO E. Datos de resistencia de la nueva malla y la reconfiguración del sistema de puesta tierra.....	77
ANEXO F. Certificado de calibración del telurómetro .....	78

## Índice de Figuras

Fig. 1. Efectos de la corriente alterna sobre el cuerpo humano. ....	5
Fig. 2. Tensiones presentadas por una corriente de falla.....	7
Fig. 3. Configuración Wenner.....	10
Fig. 4. Configuración Schlumberger.....	11
Fig. 5. Configuración dipolo - dipolo.....	11
Fig. 6. Curvas de Sunde.....	14
Fig. 7. configuración caída de potencial o 62%.....	16
Fig. 8. Medición de resistencia de puesta a tierra. ....	17
Fig. 9. Configuración del método de Tagg .....	17
Fig. 10. Método sin estacas. ....	18
Fig. 11. Diagrama del diagnóstico del sistema de puesta tierra existente.....	21
Fig. 12. Ubicación del edificio de la carrera de electricidad de la utn.....	22
Fig. 13. Ubicación de los sistemas de puesta a tierra existentes. ....	23
Fig. 14. Medidor de resistencia de tierra .....	23
Fig. 15. Medidor de resistencia de tierra .....	24
Fig. 16. Puesta tierra de la Bobina de Tesla. ....	25
Fig. 17. Malla existente .....	25
Fig. 18. Pozo del electrodo de puesta a tierra de la bobina de tesla.....	25
Fig. 19. Conexión de la puesta a tierra de la bobina de tesla y la malla principal. ...	26
Fig. 20. Ubicación para la medición de la resistencia de puesta a tierra de la malla. .....	26
Fig. 21. Conexión del equipo de medición con la tierra de la malla y bobina de tesla. .....	27
Fig. 22. Curva del comportamiento de la resistencia de la malla y bobina de tesla.	27
Fig. 23. Módulo de control y fuerza. ....	28
Fig. 24. Conexión del electrodo.....	28
Fig. 25. Ubicación para la medición de la resistencia de puesta a tierra del sistema Smart Grid.....	29
Fig. 26. Conexión del equipo de medición con la tierra del sistema Smart Grid. ....	29
Fig. 27. Curva del comportamiento de la resistencia del sistema smart grid.....	30
Fig. 28. Puesta a tierra del sistema fotovoltaico.....	30
Fig. 29. Electrodo en el pozo.....	31

Fig. 30. Ubicación para la medición de la resistencia de puesta a tierra del sistema de generación. ....	32
Fig. 31. Conexión del equipo de medición con la tierra del sistema de generación fotovoltaica y solar.....	32
Fig. 32.. Curva del comportamiento de la resistencia del sistema de generación fotovoltaica y solar.....	33
Fig. 33. Transformador trifásico de 75 kVA junto al Auditorio Agustín Cueva .....	34
Fig. 34. Diagrama de bloques del procedimiento de diseño.....	37
Fig. 35.. Lugar a reconfigurarse el sistema de puesta a tierra. ....	44
Fig. 36. Medición Wenner. ....	44
Fig. 37. Resistividad.....	45
Fig. 38. Configuración del sistema de puesta a tierra. ....	46
Fig. 39. Área de la malla. ....	48
Fig. 40. Excavación de la zanja.....	49
Fig. 41. Excavación del hueco para el pozo.....	49
Fig. 42. Excavación de hueco para las varillas copperweld. ....	50
Fig. 43. Instalación de la varilla copperweld.....	50
Fig. 44. Tendido del conductor de cobre. ....	51
Fig. 45. Tendido total del conductor de cobre. ....	51
Fig. 46. Componente químico GEM. ....	52
Fig. 47. Colocación del compuesto químico GEM.....	52
Fig. 48. Pozo de revisión.....	53
Fig. 49. Tapa del pozo de revisión. ....	53
Fig. 50. Soldadura exotérmica cable - varilla y cable – cable.....	54
Fig. 51. Tipos de moldes para la soldadura exotérmica. ....	54
Fig. 52. Proceso de soldadura exotérmica. ....	55
Fig. 53. Barra de tierra. ....	55
Fig. 54. Excavación de zanja para conectar la malla existente. ....	56
Fig. 55. Conexión de las dos mallas.....	57
Fig. 56. Conexión de la tierra del sistema SMART GRID.....	57
Fig. 57. Conexión de la tierra del SISTEMA FOTOVOLTAICO Y EÓLICO. ....	58
Fig. 58. Machinado de los terminales tipo ojo a los conductores de tierra. ....	58
Fig. 59. Conexión de los terminales de los conductores a la barra de tierra.....	59

Fig. 60. Conexión del sistema de puesta a tierra reconfigurada al tablero de distribución. ....	60
Fig. 61. Conexión de la puesta a tierra reconfigurada en la caja de conexión de tierras. ....	60
Fig. 62. Caja de conexión de tierra con su tapa de protección.....	61
Fig. 63.. Instalación del ripio en el área de la nueva malla.....	61
Fig. 64. Etiquetado de los sistemas de puesta a tierra.....	62
Fig. 65. Tapa del pozo de revisión .....	62
Fig. 66. Ubicación para la medición de la resistencia de puesta a tierra de la malla. ....	63
Fig. 67. Conexión del equipo de medición con la tierra de la nueva malla.....	64
Fig. 68. Curva del comportamiento de la resistencia de la nueva malla.....	64
Fig. 69. Conexión del equipo de medición con el sistema de puesta a tierra reconfigurado. ....	65
Fig. 70. Curva del comportamiento de la resistencia del sistema de puesta a tierra reconfigurado. ....	66
Fig. 71. Diagrama de conexión del sistema de puesta a tierra reconfigurado.....	67

## Índice de Tablas

Tabla 1. Componentes de un sistema de puesta a tierra. ....	2
Tabla 2. Esquemas principales de puesta a tierra. ....	4
Tabla 3. Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica. ....	6
Tabla 4. Resistividad en función de la naturaleza del terreno. ....	9
Tabla 5. Porcentaje de reducción por aplicación de gel. ....	20
Tabla 6. Proyectos de titulación con sistemas de puesta a tierra. ....	22
Tabla 7. Valores típicos del factor de decremento. ....	39
Tabla 8. Constante Kf para diferentes tipos de material del conductor. ....	39
Tabla 9. Datos de la malla. ....	47
Tabla 10. Presupuesto referencial del costo de la malla. ....	68

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como propósito realizar la reconfiguración del sistema de puesta a tierra del Edificio de la Carrera de Electricidad de la Universidad Técnica de Norte con el fin de mejorar la protección de las instalaciones eléctricas ante las corrientes de fallas y brindar seguridad a los diferentes equipos eléctricos y electrónicos, así como a los estudiantes, personal administrativo y cuerpo docente. Para llevar a cabo este trabajo se realizó el análisis de los sistemas de puesta a tierra existentes, estudio de la resistividad del terreno y el diseño de una nueva malla de acuerdo a la norma IEEE Std 80-2013.

Se destacan aspectos para el diagnóstico del estado actual de los sistemas de puesta tierra del edificio mediante la verificación visual de los elementos instalados y la medición de la resistencia de las tierras existentes. Por otra parte, para la construcción de la malla de tierra, previamente se realiza el diseño de la misma considerando el procedimiento indicado en la norma IEEE Std 80-2013 para determinar los parámetros principales, como las características del suelo en base al estudio de resistividad, área adecuada con el suficiente espacio para la construcción y dimensionamiento de la malla; de tal forma de obtener un valor de resistencia menor a  $5\Omega$  para la protección de los diferentes equipos de la instalación y voltajes de paso y contacto seguros al cual el ser humano pueda soportar.

Una vez realizado la reconfiguración del sistema de puesta a tierra existente se realiza la medición de la resistencia con el telurómetro obteniendo un valor menor a  $5\Omega$ , cumpliendo con el objetivo del diseño y del presente proyecto.

**Palabras clave:** Tierra, IEEE, reconfiguración, diseño, malla, resistencia, resistividad.

## **ABSTRACT**

The purpose of this project is to reconfigure the grounding system of the Electricity Career Building of the Universidad Técnica de Norte in order to improve the protection of the electrical installations against fault currents and provide safety to the different electrical and electronic equipment, as well as to the students, administrative staff and faculty. To carry out this work, an analysis of the existing grounding systems, a study of the soil resistivity and the design of a new mesh according to the IEEE Std 80-2013 standard were carried out.

Aspects for the diagnosis of the current state of the grounding systems of the building are highlighted through the visual verification of the installed elements and the measurement of the resistance of the existing grounds. On the other hand, for the construction of the grounding grid, previously the design of the same is performed considering the procedure indicated in the IEEE Std 80-2013 standard to determine the main parameters, such as soil characteristics based on the resistivity study, adequate area with enough space for the construction and sizing of the grid; in such a way to obtain a resistance value less than  $5\Omega$  for the protection of the different equipment of the installation and safe step and contact voltages to which the human being can withstand.

Once the reconfiguration of the existing grounding system is done, the resistance is measured with the tellurimeter obtaining a value less than  $5\Omega$ , fulfilling the objective of the design and of this project.

**Key words:** Earth, IEEE, reconfiguration, design, mesh, resistance, resistivity.



## CONTEXTO

Una instalación eléctrica es un conjunto de aparatos eléctricos y de circuitos asociados, previstos para un fin particular: generación, transmisión, transformación, rectificación, conversión, distribución o utilización de la energía eléctrica (Casas, 2003, p. 21).

Por otra parte todo sistema eléctrico debe tener su puesta a tierra, donde su funcionalidad es similar en cualquier etapa del suministro de electricidad (central de generación, subestación eléctrica, instalación eléctrica residencial, oficinas e industrias); el cual brinda seguridad a las personas al no permitir someterse a voltajes de paso o de contacto al cual el ser humano pueda soportar; y protege los diferentes equipos que pueda tener una instalación, ante las corrientes peligrosas que pudieran existir por la falta de aislamiento de los equipos. (ENERGÍA, 2008; Procobre, 1999, p. 35).

El crecimiento de las redes eléctricas y el desarrollo de los equipos eléctricos y electrónicos exigen un estudio más detallado de los sistemas de puesta a tierra que permitan garantizar la seguridad en la operación y la continuidad en el suministro de energía eléctrica (Gaibor, 2005, p. 1). Por lo tanto el diseño de un sistema de puesta a tierra, debe ser segura, confiable y eficiente; cumpliendo parámetros internacionales, para lo cual se debe orientar a las regidas en las normas IEEE-80 respecto a los materiales a utilizarse como electrodos, conductor, etc. y la forma de su conexión; IEC-60479 relacionado a la corriente que puede tolerar el cuerpo humano; e IEEE-81 respecto a la verificación del estado del sistema mediante la medición de la resistividad y su resistencia de puesta a tierra. (IEEE, 1983) (INEN, 2014)

El sistema de puesta a tierra debe proporcionar un camino de impedancia suficientemente baja para despejar las corrientes indeseables presentes en una instalación, para lo cual un parámetro importante a tomarse en cuenta es la

resistividad del terreno, debido a que por las características que se tenga respecto a humedad, salinidad, etc., este afectará a la impedancia del sistema; por lo tanto es importante tener un terreno uniforme para poder establecer las condiciones técnicas de nuestro sistema de puesta a tierra. (García, 1999)

Para la implementación del sistema de puesta a tierra se debe utilizar los materiales adecuados para el mismo, así como conductor, electrodos, sueldas, etc., cumpliendo especificaciones técnicas, de tal forma que una vez implementado el sistema pueda actuar correctamente ante la presencia de corrientes de falla en la instalación eléctrica. (Casas, 2003)

Existen diferentes tipos de sistemas de puestas a tierra como son: radial, anillo y malla; donde esta última es la más utilizada porque se logra tener una baja resistencia, por lo tanto, es muy eficiente para despejar las fallas eléctricas que pudieran ocurrir en las instalaciones eléctricas. (Mora, 2019)

El mantenimiento de una instalación eléctrica conlleva a la revisión del sistema de puesta a tierra; donde la calidad y con la frecuencia con la que se realice este trabajo será muy importante para poder prevenir daños de los equipos y seguridad de las personas. Este trabajo dependerá del tipo y tamaño de la instalación, su funcionalidad o nivel de tensión, donde el mantenimiento a realizarse puede ser por inspección en los elementos que se tiene más acceso; y un examen que incluye una inspección más rigurosa que incluye realizar pruebas. Todo esto conlleva a que se determine las condiciones actuales del sistema y se pueda realizar el respectivo mejoramiento, tomando en consideración todos los aspectos mencionados en los párrafos anteriores. (Procobre, 1999)

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Un sistema de puesta a tierra es implementado considerando los parámetros eléctricos para que la misma sea segura, confiable y eficiente; sin embargo, debido a los años de vida útil se deterioran. Por otra parte, el Edificio de la carrera de Electricidad de la Universidad Técnica del Norte de acuerdo a una inspección visual

se determina que su infraestructura civil y eléctrica tiene alrededor de 16 años de vida útil de acuerdo a la fecha en la que se creó la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.

En el edificio de la Carrera de Electricidad se cuenta con aulas, oficinas y cinco laboratorios que tiene diferentes equipos eléctricos y electrónicos para la práctica de los estudiantes; donde además se tiene presencia de personal administrativo y cuerpo docente, quienes necesitan condiciones seguras en lo que se refiere a la protección contra fallas a tierra que pudieran existir en la instalación eléctrica de tal forma de precautelar la integridad de los mismos.

El edificio de la carrera de electricidad inicialmente fue diseñado únicamente para aulas de clases, sin embargo, debido a las necesidades de la Universidad de contar con una mayor infraestructura en la parte de laboratorios ha hecho que este edificio se reasigne para tal propósito, lo que implica que la puesta a tierra de la carrera debe reconfigurarse de tal forma que cumpla las características técnicas de protección para los nuevos equipos instalados en los laboratorios.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es el procedimiento y parámetros eléctricos se debe considerar para realizar el estudio para el mejoramiento del sistema de puesta a tierra del Edificio CIELE de acuerdo a las normas internacionales vigentes de la IEEE y del Código Eléctrico Ecuatoriano del INEN?

## **JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto tiene como finalidad de realizar la reconfiguración del sistema de puesta a tierra del Edificio de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica del Norte, el cual tiene sus años de vida útil y debido a la implementación de nuevos equipos eléctricos y electrónicos para los laboratorios de la carrera, se debe contar con un adecuado sistema de protección para los nuevos equipos.

Por otra parte, a más de tener equipos en el edificio de la carrera existe la presencia de personal administrativo, docente y estudiantil donde ellos necesitan condiciones seguras para su respectivo trabajo, donde de acuerdo a la norma IEC 60479-1 se establece las condiciones para que las personas tengan una seguridad eléctrica; por lo tanto, es necesario la reconfiguración del sistema de puesta a tierra para despejar las fallas eléctricas a las que estuvieran expuestos el personal.

## **ALCANCE**

Para la reconfiguración del sistema de puesta a tierra del Edificio de la carrera de Electricidad se va a realizar un análisis sobre los diferentes parámetros del sistema de puesta a tierra existente que incidirían para que los nuevos equipos funcionen o no correctamente. Por lo tanto, se realizará la inspección de campo de las condiciones actuales de las instalaciones y mediciones respectivas de la resistencia de puesta a tierra (Método de caída de potencial) y resistividad del terreno (Método de Wenner); de tal forma de establecer las condiciones generales del sistema.

Se estudiará y analizara las normas y reglamentos estandarizados que se pueda aplicar a nuestro estudio como son: IEEE-80 respecto a los materiales a utilizarse como electrodos, conductor, etc., IEC-60479 relacionado a la corriente que puede tolerar el cuerpo humano, e IEEE-81 respecto a la verificación del estado del sistema mediante la medición de la resistividad y su resistencia de puesta a tierra

Para el diseño del nuevo sistema de puesta a tierra se verificará el estado del terreno mediante la medición de la resistividad para lo cual se aplicará el método de Wenner. Por otra parte, se realizará los cálculos respectivos para determinar la topología del sistema, su dimensión y los materiales a utilizarse de tal forma que cumpla un valor mínimo de la resistencia de puesta a tierra de  $5 \Omega$ , tomando en cuenta que se tiene equipos sensibles en el Edificio de la carrera de electricidad.

La topología a implementarse es una puesta a tierra física para equipos eléctricos, la misma que será tipo malla, donde el conductor y electrodos a utilizarse será determinado por el estudio previo, así como su dimensión y la ubicación del mismo.

El sistema contará con una caja de revisión para verificar periódicamente el estado de la misma y servirá como punto de conexión para realizar prácticas de la Carrera de Electricidad.

El desarrollo del estudio, de acuerdo a las diferentes actividades que se va realizar para el cumplimiento del objetivo general se tiene programado que se termine como mínimo en 7 meses.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Realizar la reconfiguración del sistema de puesta a tierra del Edificio de la Carrera de Electricidad para mejorar la seguridad de sus instalaciones, mediante la determinación de los parámetros técnicos a través de su respectivo estudio.

### **Objetivos Específicos**

Analizar el funcionamiento de las puestas a tierra, parámetros de diseño y factores que causan los problemas.

Diagnosticar el estado actual del sistema de puesta a tierra de la carrera de electricidad para determinar su correcta funcionalidad ante las corrientes de falla que puedan existir.

Realizar la reconfiguración del sistema de puesta a tierra existente del Edificio de la Carrera de Electricidad, para la seguridad del personal y equipos del mencionado edificio.

# **CAPITULO 1**

## **Fundamentos teóricos para el análisis de la puesta a tierra**

En este capítulo se presenta la base teórica de los parámetros principales que involucra un sistema de puesta a tierra, así como el análisis y metodología de medición de la resistividad del terreno y resistencia de puesta a tierra, efectos fisiológicos en el cuerpo humano causado por la electricidad y los diferentes materiales necesarios para implementar un sistema de tierra.

### **1.1 Introducción**

La energía eléctrica es fundamental en la vida de todas las personas, donde la mayoría de las actividades especializadas y cotidianas involucran el uso del servicio eléctrico; ayudando también al desarrollo tecnológico en el entorno eléctrico y electrónico. Por otra parte, las personas al interactuar con diferentes equipos en el área laboral están expuestos a varios factores de peligro con lo que respecta a fallas en un sistema eléctrico sea por descuidos desafortunados de las personas o fallas de los equipos; por lo tanto, debe existir la protección con la respectiva puesta a tierra de los equipos. (Pardo, 2014)

### **1.2 Sistema de una puesta a tierra**

Un sistema de puesta a tierra es una conexión eléctrica física, donde un circuito eléctrico o equipo se conecta a la tierra por medio de un conjunto de elementos necesarios que están formados principalmente por electrodos enterrados en el suelo, cables y su respectiva conexión para realizar la unión eléctrica con la tierra. (Vásquez, 2016)

La puesta a tierra es un mecanismo que representa seguridad a las personas y equipos, y todos los bienes en general que forman parte de las instalaciones eléctricas que están propensos a riesgos eléctricos, de tal forma que ante una corriente de falla la misma pueda circular con facilidad por un camino de baja resistencia. Para que se tenga una protección segura, se debe considerar en el diseño, construcción y operación del sistema eléctrico todos los parámetros de tal forma de cumplir cierta normativa. (Quishpe, 2016)

### **1.3 Componente de un sistema de puesta a tierra**

El sistema de puesta a tierra está conformado por una serie de elementos que se describe en la Tabla 1 (electrodo, conductor, conector, solda exotérmica, mejorador de suelo y accesorios) y depende del tipo de instalación que se realice o de su utilidad, es decir si el sistema es para un edificio residencial, fábrica, torres de transmisión o una subestación eléctrica.

Tabla 1. Componentes de un sistema de puesta a tierra.

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
Conductor	Es de cobre puro y también de acero con recubrimiento de cobre, los cuales tienen alta conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión (Quishpe, 2016)	 Fuente: (TODOFERRETERÍA, 2020)
Varilla	Son de cobre puro y también de acero cubierto de cobre (copperweld) tienen excelentes propiedades mecánicas y eléctricas que brindan protección suficiente contra la corrosión del terreno. (Quishpe, 2016)	 Fuente: (PROMESA, 2020).
Conectores-atornillados	Compuesto de dos piezas metálicas, fabricado de cobre puro o aleación de cobre, mediante presión están en contacto con los conductores, ofrecen una buena resistencia mecánica a la corrosión. (SISA, 2020)	 Fuente: (SISA, 2020)
Conectores compresión	Están compuestos de una sola pieza, son fabricados en cobre electrolítico puro, dan mayor garantía de buen contacto con el elemento de conexión, son fáciles de instalar. (EPM, 2017)	 Fuente: (Moya & Pilatasig, 2019).
Solda exotérmica	Representa una reacción química que desprende una excesiva cantidad de calor, llegando a obtener el metal fundido, donde se genera un empalme o unión de los conductores de cobre, obteniendo mayor durabilidad y un contacto sólido (Moya & Pilatasig, 2019).	 Fuente: (APSPANAMA, 2020)
Molde conexión exotérmica	La ejecución de la soldadura se realiza por medio de un molde de grafito, el cual es diseñado para un tipo, tamaño y forma de elementos a conectar. (Moya & Pilatasig, 2019)	 Fuente: (Moya & Pilatasig, 2019).
Compuesto químico	Mejora la conductividad eléctrica del suelo considerablemente, debido a que favorece la absorción y el equilibrio de humedad. (Quishpe & Gutiérrez, 2018).	 Fuente: (Quishpe & Gutiérrez, 2018).

Fuente: (Autor, 2021).

## **1.4 Configuración de la puesta a tierra**

Existen diferentes configuraciones de sistemas de puesta a tierra de acuerdo a la instalación que se va a proteger. Tienen su propio espacio, conformado por elementos metálicos los cuales están en contacto directo con el terreno. (Peñafiel & Vallejo, 2020). A continuación, se detallan los tres sistemas de puesta a tierra más relevantes.

### **1.4.1 Sistema radial**

Este sistema es el más simple de conexión a tierra y usualmente se puede hallar fuera de una casa u oficina, pero no es el más satisfactorio ya que de producirse una falla en un aparato, se produce incrementos de potencial. Este sistema consiste en uno o varios electrodos a los cuales se conectan las derivaciones a cada aparato. (NFPA 70, 2017)

### **1.4.2 Sistema anillo**

Este sistema se emplea colocando un conductor de cobre de suficiente calibre 2 AWG en forma de anillo, la configuración es aplicada especialmente en fábricas, subestaciones y área de comunicaciones, con el objeto de que permite un plano equipotencial alrededor del de edificios y equipos, ocupa menos espacio y es menos propenso a los daños mecánicos. (NFPA 70, 2017)

### **1.4.3 Sistema de malla**

El sistema en red o malla es el más usado en la actualidad en nuestro sistema eléctrico y será el motivo del presente trabajo; consiste como su nombre lo indica en una malla formada por cable de cobre, conectados a través de varillas copperweld a partes más profundas para buscar zonas de menor resistividad, proporcionando una base común de tierra para los dispositivos eléctricos o estructuras metálicas. Por lo general se encuentran subestaciones, edificios y construcciones eléctricas de gran magnitud. (IEEE 80, 2013)

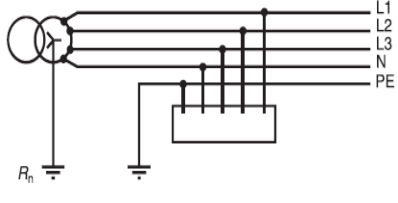
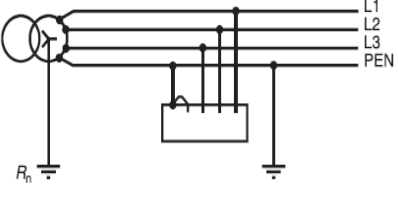
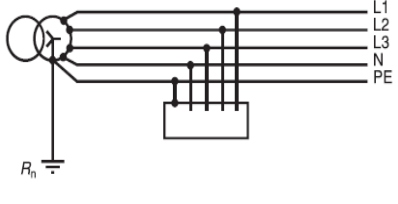
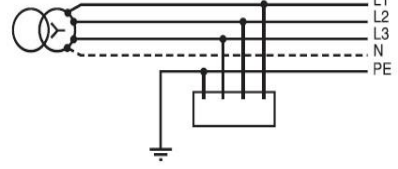
## **1.5 Esquemas de conexión a tierra**

Los esquemas de conexión de puesta a tierra son fundamentales para la fiabilidad y disponibilidad de una instalación de baja tensión, teniendo una buena protección para las personas ante riesgos de contactos indirectos. Se caracterizan por la conexión a tierra de la instalación aguas abajo del devanado secundario del transformador y el medio para



conectar la tierra de las masas receptoras de la instalación eléctrica. Los esquemas son equivalentes si se siguen las normas de instalación y funcionamiento, tomando en cuenta la continuidad de servicio, tipos de redes y de cargas. (SCHNEIDER, 2010) En la Tabla 2 se describe los principales esquemas con su respectiva configuración.

Tabla 2. Esquemas principales de puesta a tierra.

<p>Esquema TT</p>	<p>Se realiza la conexión del neutro de la fuente con la tierra. Las partes conductoras (masas) están conectadas a un toma de tierra independiente de la instalación.</p>	
<p>Esquema TN-C</p>	<p>Se realiza la conexión del neutro de la fuente con la tierra. Las partes conductoras (masas) están conectadas mediante un único conductor combinado entre el neutro y puesta a tierra de protección.</p>	
<p>Esquema TN-S</p>	<p>Un punto de la fuente de alimentación se conecta directamente a tierra. Las partes conductoras (masas) están conectadas mediante un conductor de puesta a tierra independiente del neutro.</p>	
<p>Esquema IT</p>	<p>No se realiza la conexión del neutro de la fuente con la tierra. Las partes conductoras (masas) están conectadas a un toma de tierra independiente de la instalación.</p>	

Fuente: Adaptado de (SCHNEIDER, 2010)

## 1.6 Efectos de la electricidad en los seres humanos

La composición del cuerpo humano en su mayoría es de agua, es decir forma parte de la sangre, los tejidos, órganos en general, esto nos da a entender que tiende a ser un buen conductor de electricidad; por lo tanto, un paso de corriente eléctrica externa por el cuerpo

humano se tiene el riesgo que se electrocute. La gravedad de una descarga eléctrica en el ser humano depende de muchos factores y puede provocar lesiones físicas hasta el fallecimiento por fibrilación ventricular. (Ruiz, 2017)

Se debe tener presente que el criterio fundamental para garantizar la seguridad de los seres humanos es la máxima energía eléctrica que pueden soportar, debida a las tensiones de paso, de toque. (NEC, 2013)

Las principales causas que pueden provocar accidentes eléctricos son: falta de prevención, exceso de confianza, fallas técnicas, fallas humanas, imprudencia e ignorancia.

### 1.6.1 Efectos fisiológicos

Los efectos fisiológicos que produce la corriente eléctrica en el cuerpo humano dependen de la intensidad de la corriente, del tiempo de duración, punto donde se tiene contacto, genero, peso, altura de la persona, etc. La norma IEEE 80-2013 establece que el cuerpo posee altas resistencias al paso de la corriente eléctrica de  $1000 \Omega$  entre mano y pie.

La norma internacional IEEE 80-2013 e IEC 60479 estudia los efectos que tiene el paso de la corriente alterna sobre el cuerpo humano, de acuerdo a la Figura 1.

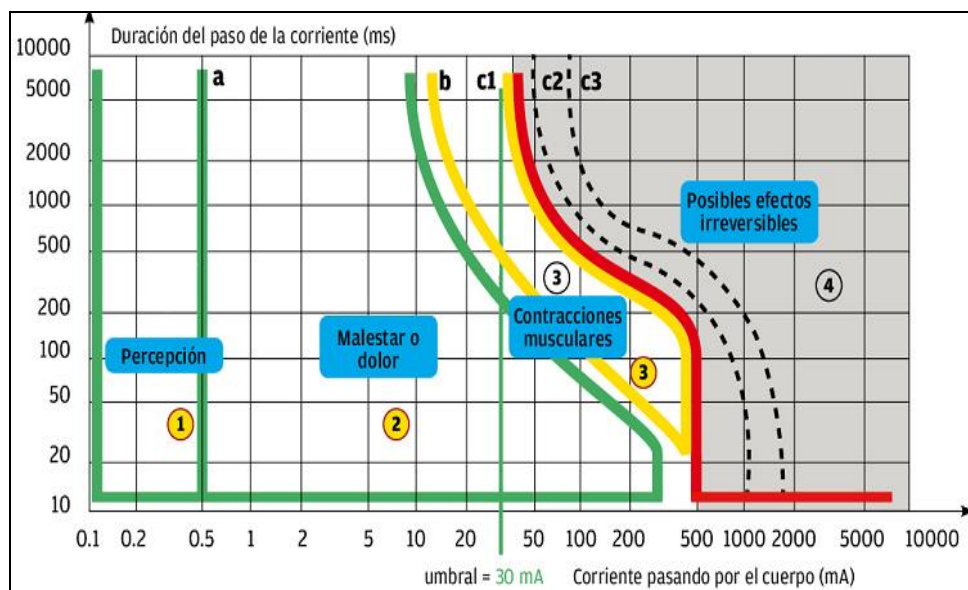


Fig. 1. Efectos de la corriente alterna sobre el cuerpo humano.  
Fuente: Adaptado de (IEC 60479, 2014).

En la Figura 1 se muestra cuatro zonas de los efectos fisiológicos sobre el cuerpo humano y que depende de la corriente y del tiempo de duración de esta. En la Tabla 3 se presenta un resumen de lo que determina cada zona.

Tabla 3. Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica.

ZONAS	EFFECTOS FISIOLÓGICOS
1	Imperceptible. Generalmente no se perciben efectos con corrientes de hasta 0,5 mA, sin importar el tiempo que esta circule por el cuerpo humano.
2	Perceptible. Usualmente sin efectos fisiológicos. En esta zona se perciben contracciones musculares o tetanizaciones leves.
3	Efectos reversibles.No se espera daños orgánicos. Aparecen contracciones musculares y dificultades para la respiración. Los paros cardiacos sin fibrilación ventricular se incrementan con la corriente y el tiempo.
4	Posibilidad de efectos irreversibles. Probabilidad que se produzca fibrilación ventricular. Los efectos de paros cardiacos, respiratorios y quemaduras pueden ocurrir con el incremento de corriente y el tiempo.

Fuente: Adaptado de (IEC 60479, 2014)

La fibrilación ventricular es considerada como la principal causa de la muerte de la persona por corriente eléctrica. También se tiene la evidencia de casos de muerte por asfixia o parada del corazón. (IEC 60479, 2014)

### 1.6.2 Tensión de contacto

Diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre una estructura metálica puesta a tierra y un punto de la superficie del terreno a una distancia de un metro. Esta distancia horizontal es equivalente a la máxima que se puede alcanzar al extender un brazo, tal como se indica en la Figura 2. (IEEE 80, 2013)

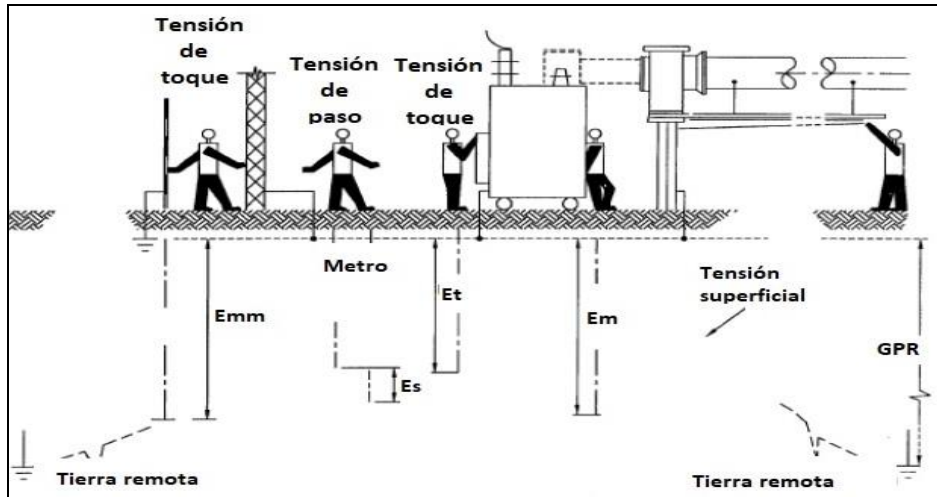


Fig. 2. Tensiones presentadas por una corriente de falla  
Fuente: (IEEE 80, 2013).

La ruta de la corriente se crea cuando dos puntos de la piel están en contacto con cables u otras superficies metálicas a diferentes voltajes. Los caminos más comunes son entre las dos manos o entre una mano y los pies, donde ambos caminos permiten que la corriente fluya a través del corazón, lo cual es particularmente peligroso porque puede interrumpir el ritmo del corazón. (Ward, 2017)

### 1.6.3 Tensión de paso

Diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre dos puntos de la superficie del terreno, separados por un paso (aproximadamente un metro), en la dirección del gradiente de tensión máximo.

Es decir que una persona que pise dos puntos diferentes se verá expuesta a una tensión de paso por la diferencia de potencial entre sus pies ya que estos representan el cierre de un circuito eléctrico, como en la Figura 2. (IEEE 80, 2013)

### 1.6.4 Fallas por cortocircuito

Todo sistema eléctrico está diseñado de tal forma que funcione correctamente, sin embargo, está expuesto a fallas que pueden ser por el contacto entre conductores de fase o de un conductor de fase al conductor a tierra o neutro. (IAEI, 2017)

El sistema debe estar diseñado para despejar las fallas que puedan ocurrir en cualquier momento; por lo cual es importante también tener en cuenta de que todos los equipos del

sistema sean capaces de soportar estas fallas. Algunas de las causas de este tipo de fallas son: presencia de animales en los equipos, pérdida de conexiones por sobre calentamiento, transientes de voltaje, deterioro del aislamiento de los alimentadores, acumulación de polvo y contaminantes, contacto accidental con herramientas metálicas o de materiales conductores. (Núñez, 2015)

## **1.7 Resistividad de terreno**

Un parámetro fundamental para poder determinar el diseño de un sistema de puesta a tierra sea para una instalación nueva o la reconfiguración de un sistema existente es la medida de la resistividad del terreno, donde esta magnitud permite determinar las condiciones generales del terreno como su homogeneidad y el valor de resistencia. Lo ideal sería obtener un terreno con un valor mínimo de resistencia; sin embargo, debido a diferentes factores del suelo no se puede atribuir una resistividad específica. Es altamente recomendado que la resistividad del suelo en el sitio de implantación debe ser medida. (IEEE 142, 2007)

### **1.7.1 Elementos que influyen en la resistividad del terreno**

La resistividad de un terreno varía dependiendo del sector, donde su homogeneidad depende de la presencia de sales solubles y de la humedad, presentando variación de sus compuestos tanto horizontal como verticalmente. Los principales factores que modifican el terreno son: Naturaleza del terreno, humedad, temperatura.

#### **1.7.1.1 Naturaleza del terreno**

La naturaleza del suelo varía según la ubicación geográfica y las condiciones medioambientales, debido a esos cambios la tierra está sujeto a obtener diferentes rangos de resistividad que pueden ser buenos, regulares o malos conductores de electricidad. En la Tabla 4 obtenido de la norma IEEE 80-2013 se presenta la resistividad de acuerdo al tipo de terreno.

Tabla 4. Resistividad en función de la naturaleza del terreno.

<b>Rango de resistividad de la Tierra</b>	
<b>Tipo de terreno</b>	<b>Resistividad media</b>
Suelo orgánico húmedo	10
Suelo húmedo	100
Suelo seco	1000
Suelo Rocoso	10000

Fuente: Adaptado de (IEEE 80, 2013)

Los suelos están compuestos por varias capas superpuestas que dan idea sobre el grado de homogeneidad de la resistividad del terreno, debido a que cada uno de los extractos tienen sus propias características conductivas. (Chauvin Arnoux, 2015)

### **1.7.1.2 Humedad**

La resistividad varía según el contenido de agua y por ende del grado de humedad del terreno, donde mientras más húmedo esté se tendrá una baja resistividad. Debido a que el suelo tiene presencia de sales solubles, la presencia del agua es fundamental para la disolución de los mismos y por ende tener una mejor resistividad. Se debe mencionar que la humedad depende del clima, época del año, naturaleza del subsuelo y la profundidad considerada. (Villa, 2010)

### **1.7.1.3 Temperatura**

Este factor hace que varíe la resistividad del terreno al disminuir las temperaturas de 25°C a 0°C. Cuando se tengan valores por debajo de 0° C (congelamiento) se va reduciendo el movimiento de los electrolitos; por lo tanto, la resistividad aumenta rápidamente. (IEEE 81, 2012)

Por otra parte, el calor también afectará el valor de la resistividad de un terreno ya que al tener un aumento de la temperatura el terreno estará más seco. (Mogollón, 2006)

## **1.8 Métodos de medición de la resistividad del terreno**

Para el diseño e instalación de un sistema de puesta a tierra, se realiza un estudio de suelo de tal forma de contar con la suficiente información sobre la naturaleza y configuración del terreno. (IEEE 80, 2013)

Típicamente los suelos poseen varias capas sobrepuestas, donde su resistencia varía de forma vertical y lateral. Por tanto, las mediciones de resistividad deben ser realizadas para determinar si hay alguna variación importante de la resistividad de acuerdo a la profundidad. (Ruíz, 2017)

### 1.8.1 Método Wenner

Este método está basado en la medición de la resistividad de la tierra, por medio de un instrumento de cuatro terminales, donde se insertan cuatro electrodos de pequeño tamaño colocados a la misma profundidad “**b**” y a distancias “**a**” iguales en línea recta. Entre los dos electrodos exteriores (C1 y C2), se inyecta una corriente y entre los dos electrodos centrales (P1 y P2), se mide potencial como se puede observar en la Figura 3. (Megger, 2016)

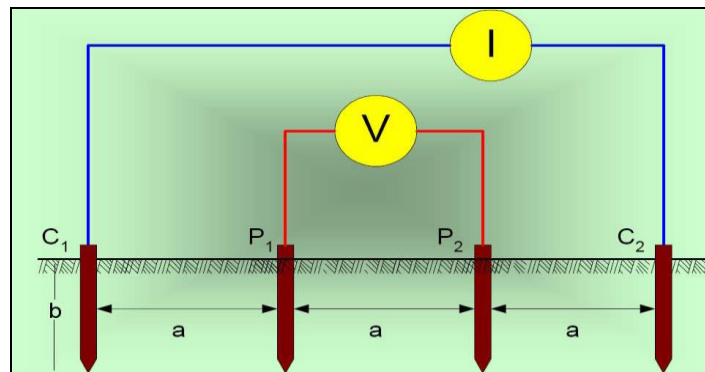


Fig. 3. Configuración Wenner.  
Fuente: (Chauvin Arnoux, 2015)

También es conocido como cuatro puntos, es la técnica más comúnmente utilizada debido a que mientras aumentan la distancia de los electrodos auxiliares, la corriente de la fuente de prueba ingresa cada vez más áreas distantes, tanto en dirección vertical como horizontal. (IEEE 80, 2013)

### 1.8.2 Método de Schlumberger

Este método es una modificación del método de Wenner, ya que también emplea 4 electrodos, pero en este caso la separación “**a**” entre los electrodos centrales o de potencial se mantiene constante, y las mediciones se realizan variando la distancia de los electrodos exteriores a partir de los electrodos interiores, a distancia múltiplos “**na**” de la separación base de los electrodos internos “**a**”. Este método de medición se presenta en la Figura 4. (Moya & Pilatasig, 2019)

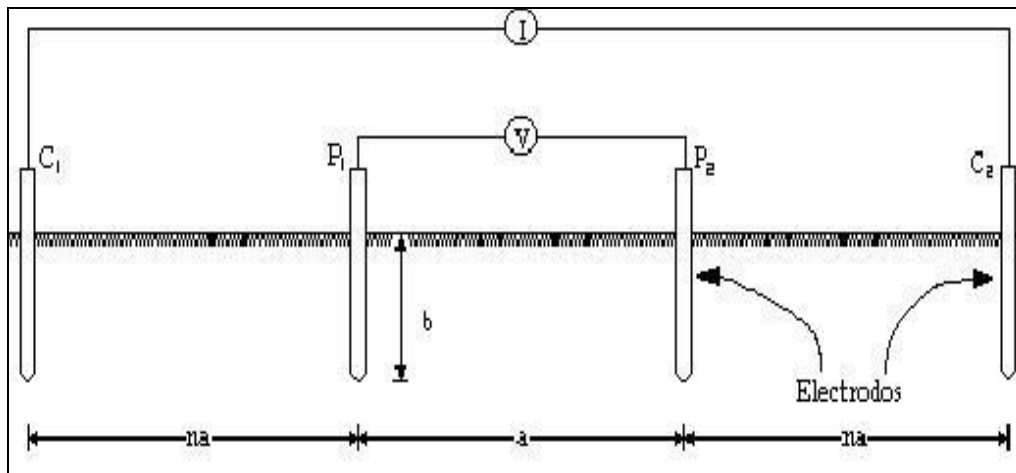


Fig. 4. Configuración Schlumberger.  
Fuente: (Moya & Pilatasig, 2019)

Este método permite ahorrar bastante tiempo en realizar las mediciones, especialmente si se quiere realizar varias medidas de resistividad y por consiguiente crear un perfil del terreno con más datos de distintas capas y profundas. En efecto, sólo deben moverse los 2 electrodos exteriores a diferencia del método de Wenner que necesita desplazar los 4 electrodos a la vez. En estas mediciones no se tienen muchas variaciones en la medición como es el caso en el método Wenner. (Ruíz, 2017)

### 1.8.3 Método Dipolo – Dipolo

Este método consiste en cuatro electrodos colocados en una misma dirección, donde el espaciamiento entre los electrodos de corriente AB y los otros dos electrodos de potencial MN, están determinados por una distancia igual “a”, que dicho valor se mantiene fijo y además cuenta con un factor “n” que es un número entero que se va aumentando a lo largo del perfil. La Figura 5 presenta la descripción grafica del método.

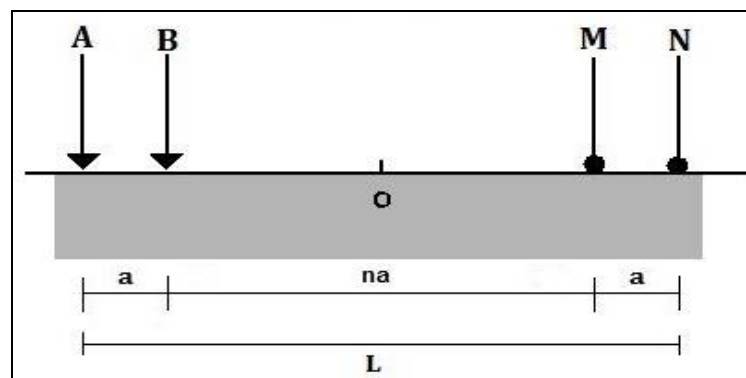


Fig. 5. Configuración dipolo - dipolo.  
Fuente: (Hernández, 2019)



Presenta una profundidad de investigación muy buena para valores “n” pequeños, mientras que, para valores grandes, son estructuras más profundas que afectan a la resistividad, por lo tanto, el método es bueno para encontrar estructuras verticales tales como cavidades, pero relativamente pobre para encontrar estructuras horizontales. (Hernández,2019)

## **1.9 Modelamiento del suelo**

La resistividad obtenida en campo es lo más importante de la medición, donde varía lateralmente, de acuerdo con la profundidad y dependiendo de la estratificación del suelo; por lo tanto, un modelamiento de suelo permite encontrar un modelo de suelo aproximado al real.

Los modelos de resistividad comúnmente usados son el de suelo homogéneo y no homogéneo. El modelo de suelo no homogéneo suelen ser una buena aproximación de muchas estructuras de suelo. La interpretación de las mediciones de resistividad del suelo puede ser realizado manualmente o mediante el uso de técnicas de análisis informático. (IEEE Std 80-2013)

### **1.9.1 Modelo de suelo homogéneo**

Cuando el contraste entre las diferentes resistividades de las capas es moderado, se puede usar un valor promedio para la resistividad del suelo, como una primera aproximación o para establecer el orden de magnitudes. En condiciones de suelo homogéneo, que raramente ocurren en la práctica, el modelo de suelo uniforme puede ser razonablemente exacto.

#### **1.9.1.1 Método del promedio**

La resistividad aproximada para un suelo uniforme se puede obtener tomando un promedio aritmético de las resistividades medidas en varios sitios y direcciones dentro del área. Pero la mayoría de los suelos no se puede aplicar este modelo porque su resistividad varía significativamente. (IEEE Std 80, 2013)

#### **1.9.1.2 Método estadístico Box – Cox**

Es un método estadístico, en el cual, a partir de los datos obtenidos en campo permite calcular un valor de resistividad con una probabilidad de 70% de ser real. De manera general se aplica el siguiente procedimiento:

- a) Partiendo de los datos de resistividad obtenidos en campo, se tabula los valores de resistividad y se halla un promedio de cada uno.
- b) Se procede a colocar el producto del resultado entre el valor promedio y los logaritmos naturales de cada una de las medidas.
- c) Se calcula la desviación estándar y en base a la distribución normal se halla la resistividad. (Peñafiel & Vallejo, 2020)

## **1.9.2 Modelo de suelo no homogéneo**

Es una modelación muy exacta de las condiciones reales del suelo, y puede representarse por una capa superior de profundidad finita, por encima de una capa inferior de profundidad infinita.

La representación de un electrodo de tierra basado en un modelo equivalente de dos capas es suficientemente preciso para diseñar un sistema seguro de puesta a tierra. (IEEE Std 81,2012)

### **1.9.2.1 Método de Sunde**

Se aplica este método gráfico con base en los datos de resistividad, que permite determinar la altura de la primera capa y la resistividad aparente de un terreno no homogéneo; con base en las indicaciones dadas en las normas IEEE Std 80-2013.

Los parámetros  $\rho_1$  y  $\rho_2$  se obtienen por inspección de las medidas de resistividad. Para el parámetro “**h**” es obtenido aplicando las curvas de Sunde que se indica en la Figura 6.

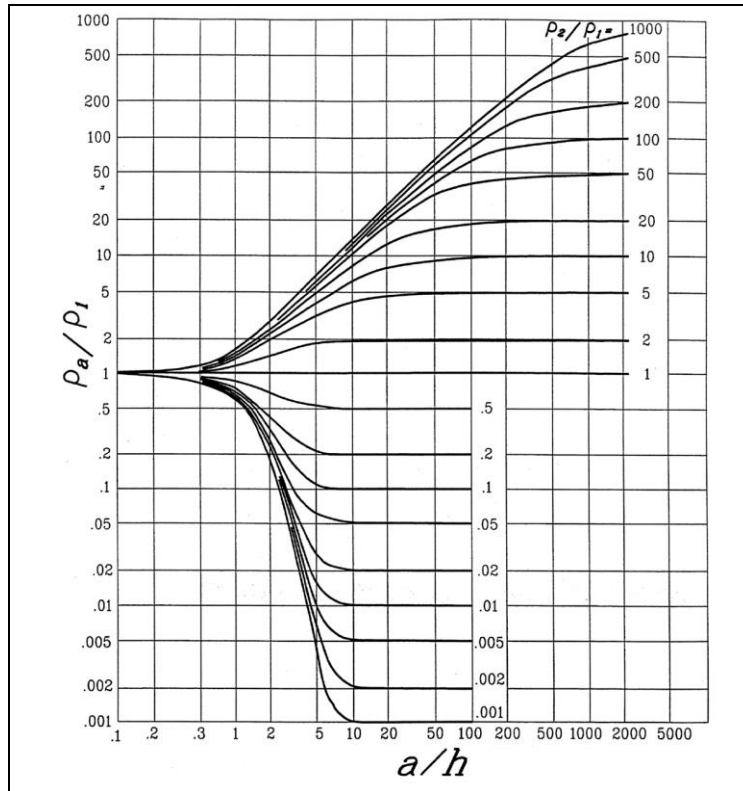


Fig. 6. Curvas de Sunde.  
Fuente: (IEEE 80, 2013).

Los pasos a seguir para obtener el parámetro  $h$  es siguiendo los siguientes pasos:

- a) Dibujar el gráfico  $\rho_a$  vs.  $a$ .
- b) De la gráfica anterior se estiman  $\rho_1$  y  $\rho_2$ , extendiendo el gráfico en ambos extremos para obtener los valores de resistividad, si los datos de campo son insuficientes.
- c) Determinar  $\rho_2/\rho_1$  y seleccionar una curva del gráfico de la Figura 15, o interpolar y dibujar una nueva curva en el gráfico.
- d) Seleccionar el valor de  $\rho_a/\rho_1$  sobre el eje "y" dentro de la región pendiente de la curva  $\rho_2/\rho_1$  apropiada.
- e) Leer el valor correspondiente  $a/h$  sobre el eje "x".
- f) Calcular  $\rho_a$  multiplicando el valor seleccionado  $\rho_a/\rho_1$  por  $\rho_1$ .
- g) Leer el espaciamiento de prueba correspondiente de la gráfica de  $\rho_a$  vs.  $a$ .
- h) Calcular la profundidad del nivel superior " $h$ " usando la separación de prueba apropiada " $a$ ".

Si la altura de la capa superior es menor a la longitud del electrodo, la resistividad aparente es calculada mediante la fórmula de Schwartz que determina la norma IEEE-std80-2013.

### **1.9.2.2 Método del gradiente descendente**

Este método puede ser utilizado cuando las mediciones han sido obtenidas mediante el arreglo de Wenner (IEEE Std 81, 2012)

Es un proceso para determinar la configuración del suelo no uniforme por medio de cálculos, implementando una técnica de algoritmo, para minimizar el error se reajustan los valores de la resistividad y profundidad de la primera capa, como también la capa inferior, para el análisis del modelo en particular, requiere el uso de programas de computadoras. (IEEE Std 81, 2012)

### **1.10 Resistencia de la tierra**

Se le determina como, la oposición que ofrece el suelo al paso de la corriente eléctrica, donde la resistencia de una puesta a tierra está dada por la capacidad para despejar la corriente de falla y va a depender de los diferentes elementos que componen el suelo, sus estratos o capas que determinan la conductividad de los conductores involucrados (Ruíz, 2017)

La resistencia propiamente del electrodo y su contacto con el suelo pueden hacerse relativamente despreciables, comparado con la resistencia del suelo, debido que la tierra es infinita en su tamaño en comparación con los sistemas de puesta a tierra. (IEEE 142, 2007)

### **1.11 Valores recomendables de resistencia**

Según la norma IEEE 142-2007 menciona los valores de resistencias estándar que deben presentar los sistemas de puestas a tierra que dependen del lugar donde sean necesario:

- Una resistencia de  $25\Omega$  para un electrodo simple para una instalación residencial.
- Una resistencia de  $1\Omega$  para grandes subestaciones, líneas de transmisión distribución y estaciones de generación.
- Una resistencia de 1 a  $5\Omega$  para subestaciones de plantas industriales, edificios y grandes instalaciones comerciales.

Además, la norma determina cuanto menor es la resistencia del sistema de puesta a tierra, mayor es la posibilidad de protección a las personas como a los equipos. También indica que si se supera el valor máximo de  $25\Omega$  se debe colocar un segundo electrodo.

## 1.12 Métodos de medición de la resistencia de la tierra

La medición de la resistencia de puesta a tierra es muy importante para determinar la efectividad de un sistema a tierra una vez que se haya implementado o como parte de una verificación de rutina por mantenimiento; trabajo que se realiza mediante un equipo especializado llamado telurómetro. Los métodos de medición utilizan electrodos auxiliares, pinza y electrodo bajo prueba. (IEEE 142, 2007)

### 1.12.1 Método del 62% o caída de potencial

Este método es el más aplicado y altamente preciso para la medición de la resistencia de puesta a tierra y su configuración se muestra en la Figura 7.

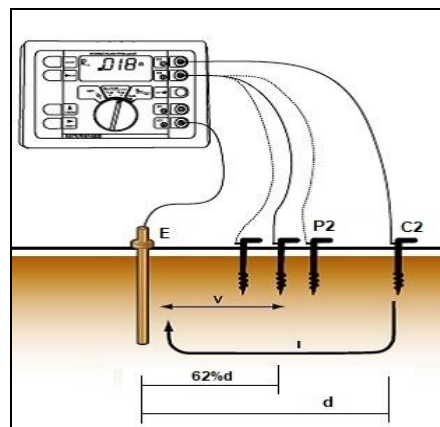


Fig. 7. configuración caída de potencial o 62%.  
Fuente: (Viditec, 2015).

El método consiste en pasar una corriente entre el electrodo o sistema de puesta a tierra a medir (E) y un electrodo de corriente auxiliar (C2) ubicado a una distancia “ $d$ ”, y medir la tensión entre la puesta a tierra bajo prueba (E) y un electrodo de potencial auxiliar (P2) colocado en la misma dirección del electrodo de corriente a una distancia del 62% de la distancia “ $d$ ” (distancia basada en la posición teóricamente correcta del 61.8%). El sistema de puesta a tierra a medir debe estar desconectada de cualquier interconexión externa. (IEEE 81, 2012)

El electrodo de corriente se coloca generalmente a una distancia “ $d$ ” del sistema de puesta a tierra; donde la norma IEEE Std 81-2013 determina que normalmente ésta distancia debe ser mínimo 5 veces superior a la dimensión más grande de la puesta a tierra bajo estudio, como se presenta en la Figura 8.

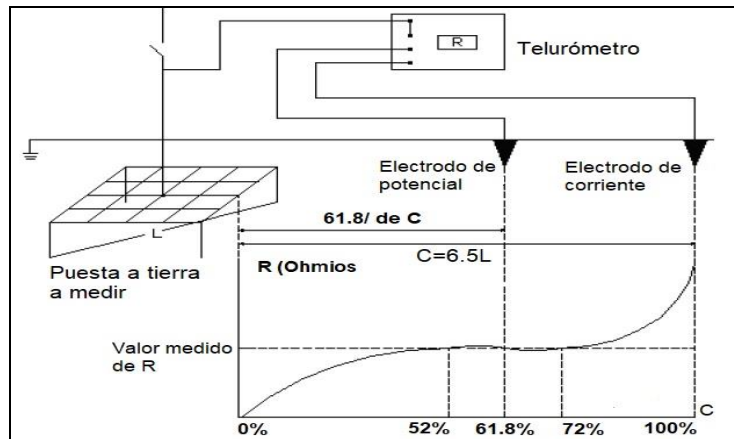


Fig. 8. Medición de resistencia de puesta a tierra.  
Fuente: (Ramírez & Cano, 2010)

La ubicación del electrodo de potencial es fundamental para medir con precisión la resistencia de una puesta a tierra, por lo tanto, su colocación debe estar libre de cualquier influencia del sistema de puesta tierra bajo medida y del electrodo auxiliar de corriente, obteniendo como resultado la curva que se presenta en la Figura 8. Dos o tres lecturas consecutivas aproximadamente constantes (52%, 61.8% y 72%) pueden determinar el valor de resistencia real del sistema de puesta a tierra. (IEEE Std 81, 2012)

La ubicación exacta del electrodo de potencial es para suelos uniformes o no homogéneos; donde para redes de tierras grandes no se puede obtener la pendiente plana de la curva de la Figura 8. (IEEE Std 80, 2013)

### 1.12.2 Método de Tagg

Este método es una variación del método de caída de potencial, se utiliza para medir sistemas de puestas a tierra desde un punto conveniente, o cuando la longitud de la puesta a tierra no es conocido. La forma de conexión es la misma que el método de “caída de potencial”, solo varía el porcentaje de distancia como se puede observar en la Figura 9.

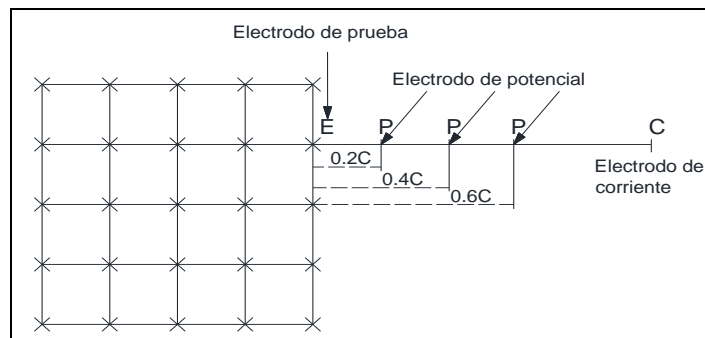


Fig. 9. Configuración del método de Tagg  
Fuente: (Megger, 2016)

Como se puede observar en la Figura 9 la forma de conexión es la misma que el método de “caída de potencial”, solo varía el porcentaje de distancia y los cálculos. A continuación, se presenta el procedimiento de medición:

- a) Elija un punto de partida conveniente para las mediciones lineales y seleccione una distancia adecuada para el electrodo de corriente.
- b) Medir las resistencias R1, R2 y R3 insertando el electrodo de potencial a distancia de 0.2CP, 0.4CP y 0.6CP, respectivamente.
- c) Calcule el coeficiente de variación de la medición  $u=(R3-R2)/(R2-R1)$  y busque el valor en la tabla del anexo A.
- d) El valor obtenido se multiplica por la distancia y se realiza nueva medición colocando el electrodo de potencial y se obtiene el valor de la resistencia. (IEEE 81, 2012)

### 1.12.3 Método sin estacas

Este es un método práctico que utiliza un equipo de medición (pinza sin electrodos) tal como se ilustra en la Figura 10. Se usa para medir en sitios donde es imposible desconectar las conexiones de puesta a tierra o no se pueda usar los métodos convencionales, debido a la restricción del acceso al terreno; como es el caso de lugares poblados, celdas subterráneas, edificios y torres de alta tensión.

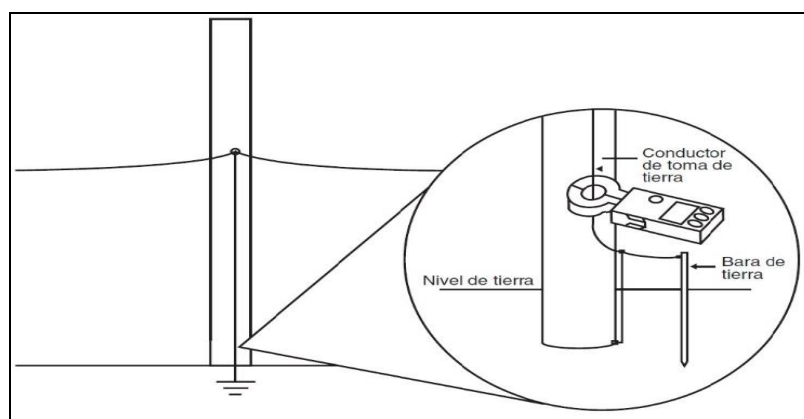


Fig. 10. Método sin estacas.  
Fuente: (IEEE 81, 2012)

El principio de operación está basado en la suposición de que la impedancia del sistema puesto a tierra en más de un punto, excluyendo el electrodo bajo medida, es muy pequeña y puede ser asumida igual a cero. Cuando se enciende la pinza se induce un voltaje con una frecuencia definida y mide automáticamente la resistencia del electrodo. (IEEE 81, 2012)

### **1.13 Métodos para reducir el valor de la resistencia de la tierra**

Un adecuado diseño de la puesta a tierra comienza con la medición de resistividad, donde se determina las características del terreno, pero cuando se tiene un valor muy alto se busca la alternativa de realizar el mejoramiento del terreno para que el valor de la resistencia de puesta a tierra sea bajo. Por otra parte, una vez que se construye el sistema de puesta a tierra y realizada la respectiva medición de la resistencia se consiguen valores altos que deben ser corregidos para que la instalación trabaje de manera adecuada.

Actualmente existen métodos para mejorar los valores de la resistencia del sistema de puesta a tierra de tal forma que el sistema represente seguridad para las personas y equipos de una determinada instalación eléctrica.

#### **1.13.1 Aumento del número de electrodos**

Cuando se tiene un valor de resistencia mayor, una manera muy efectiva para reducir la resistencia total es agregar varios electrodos en paralelo, los cuales no deben ser colocados muy cerca, por lo que cada electrodo afecta la resistencia del circuito por los efectos mutuos.

La resistencia se reduce con porcentajes aproximados a medida que se agrega cada varilla adicional con la misma resistencia individual. Cuando hay varios electrodos, estos deben estar separados al menos 1,8 m interconectados entre sí. (FLUKE, 2017)

#### **1.13.2 Aumento de la profundidad del electrodo**

Una alternativa para disminuir la resistencia de puesta a tierra es enterrar los electrodos de puesta a tierra a una mayor profundidad para lo cual se debe incrementar su longitud. (IEEE 81, 2012). Este procedimiento es beneficioso cuando el terreno no tiene una resistividad constante porque se tiene diferentes tipos de capas, por lo tanto, se debe tomar en cuenta esta particular de tal forma que el electrodo no se vea afectado y en todo caso conforme se aumente su longitud vaya disminuyendo su resistencia. Por otra parte, se debe tomar en cuenta si a capas más profundas se tiene mejores propiedades eléctricas o a su vez se trata de áreas compuestas de roca, granito, etc., donde no sea necesario un electrodo de mayor longitud sino otra opción para reducir el valor de la resistencia de puesta a tierra. (FLUKE, 2017)



### 1.13.3 TRATAMIENTO QUÍMICO DEL TERRENO

Una manera efectiva para disminuir la resistividad del terreno y por ende mejorar la resistencia de un sistema de puesta a tierra es mediante la adición de componentes químicos en el terreno donde se reduce la resistencia de la tierra entre el 25% al 80% de su valor sin tratamiento. (Villa & Inga, 2010)

Existen muchos tipos de tratamiento químico que se agregan al terreno para reducir la resistencia, donde el gel es el componente más utilizado.

El gel es una sustancia gelatinosa, que permite la conservación de la humedad y la disipación de los electrones por ser buenos conductores. Tiene propiedades humectantes o atracción por el agua, de modo que aprisiona moléculas de agua superficial que lo rodea, entonces lo convierte en una especie de reservorio acuífero. Rellena los espacios vacíos en el suelo, constituyendo una excelente conexión eléctrica entre el terreno y el electrodo, asegurando una conductividad permanente. (Quishpe & Gutierrez, 2018)

Tabla 5. Porcentaje de reducción por aplicación de gel.

Resistencia inicial en ( $\Omega$ )	% de reducción	Resistencia final en ( $\Omega$ )
600	95	30
300	85	45
100	70	30
50	60	20
20	50	10
10	40	6

Fuente: (Quishpe & Gutierrez, 2018)

La cantidad de dosis por metro cúbico de tierra del sistema de puesta a tierra varía de 1 a 3 dosis, y está en función a la resistividad natural del terreno; donde por la aplicación de este químico se reduce la resistencia de acuerdo con los porcentajes indicados en la Tabla 5.

## CAPITULO 2

### Diagnóstico del estado actual de la puesta a tierra

En este capítulo se presenta el diagnóstico del sistema de puesta existente mediante la verificación visual de los elementos instalados, así como sus conexiones; y la medición de la resistencia de las tierras existentes. Por lo tanto, se va a determinar el estado actual de la puesta a tierra del edificio, de tal forma de contemplar esta condición para la reconfiguración de la misma con base en la norma IEEE Std 80-2013.

#### 2.1 Procedimiento para el diagnóstico del sistema de puesta a tierra

El diagrama de la Figura 11 ilustra las principales consideraciones que se debe tomar en cuenta para el diagnóstico del sistema de puesta tierra, con el objetivo de comprender de mejor manera el estado actual y la distribución de los sistemas de tierra existentes.

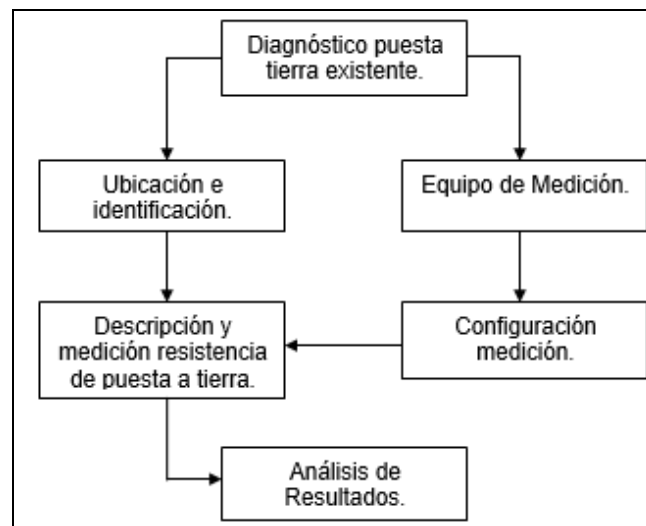


Fig. 11. Diagrama del diagnóstico del sistema de puesta tierra existente  
Fuente: (Autor, 2021)

Los parámetros que se muestran en la Figura 11 se describe su procedimiento en los siguientes párrafos.

#### 2.2 Ubicación e identificación de los sistemas de puesta a tierra existentes

El Edificio de la Carrera de Electricidad se encuentra en la parte posterior del campus de la Universidad Técnica del Norte junto al Taller Mecánico y el Auditorio Agustín Cueva, tal como se indica en la Figura 12.

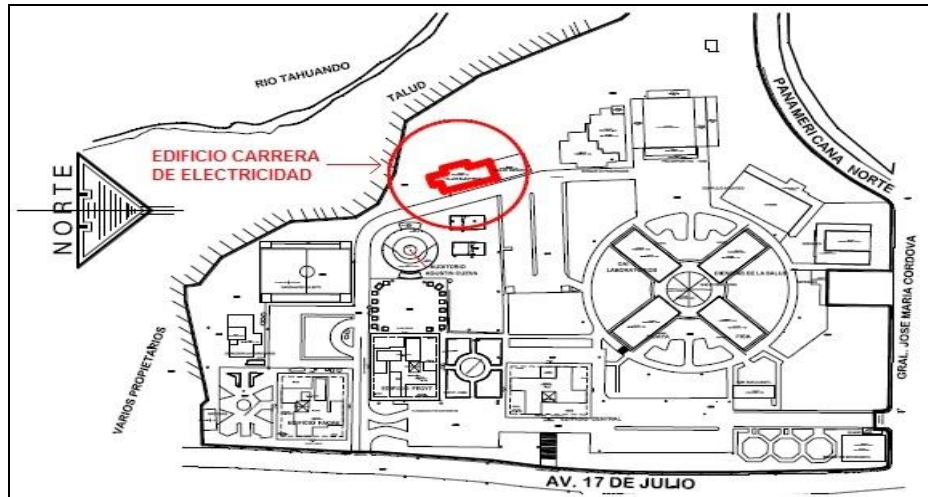


Fig. 12. Ubicación del edificio de la carrera de electricidad de la utn  
Fuente: (Núñez, 2015)

En la parte posterior del edificio, actualmente se encuentran instalados cuatro sistemas de puesta a tierra, realizadas como proyectos de titulación de acuerdo a los temas que se observan en la Tabla 6.

Tabla 6. Proyectos de titulación con sistemas de puesta a tierra.

SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA	AUTORES	AÑO
Diseño y construcción de una bobina tesla para la generación y control de alto voltaje.	Francisco Bolaños Diego Rivera	2013
Diseño e implementación del sistema eléctrico, iluminación, y seguridad de los laboratorios y adecuación de ambientes de la carrera de ingeniería en mantenimiento eléctrico.	Pozo Ricardo Juan Toapanta	2014
Implementación de una red de entrenamiento de distribución eléctrica Smart Grid.	Jairo Revelo	2017
Implementación de un sistema de microgeneración eólica con integración a la red eléctrica.	Melo Cristian	2019
Implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica con integración a la red eléctrica.	Cruceira Edison	2019

Fuente: (Autor, 2021)

En la tabla anterior comprende los cinco proyectos donde se instalaron puestas a tierras, los autores de quienes realizaron y el año implementado. Por otra parte, en la Figura 13 se presenta un diagrama unifilar de la ubicación de los sistemas indicados.

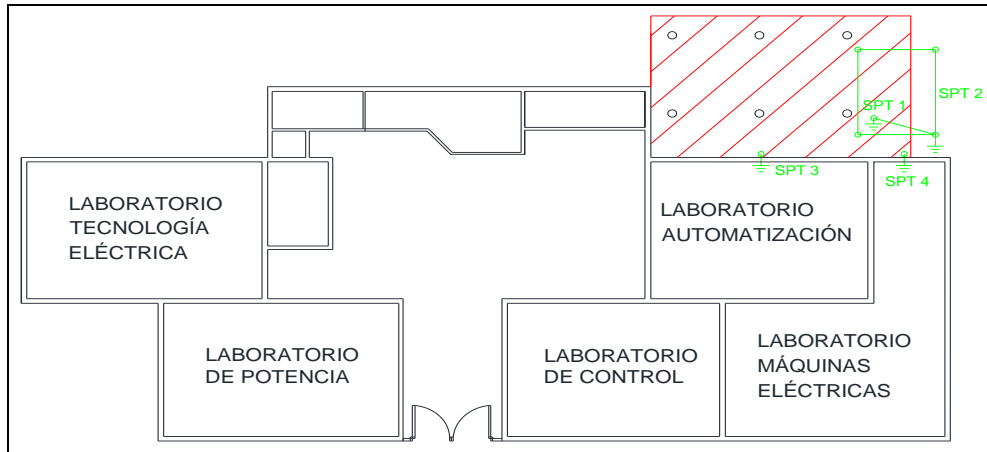


Fig. 13. Ubicación de los sistemas de puesta a tierra existentes.  
Fuente: (Autor, 2021)

En la Figura 13 se muestra la ubicación exacta de los sistemas de puesta a tierra que están en la parte posterior del edificio junto a laboratorio de automatización.

### 2.3 Información del equipo de medición de la resistencia de puesta a tierra

El equipo utilizado para la medición de la resistencia de puesta a tierra es el telurómetro que se indica en la Figura 14; el cual es un instrumento certificado marca FLUKE, modelo 1623 y serie Nro. S101302048B2. La certificación del equipo se encuentre en el Anexo F.



Fig. 14. Medidor de resistencia de tierra  
Fuente: Fuente: (Autor, 2021).

Además, el instrumento cuenta con las conexiones necesarias (H/C2, S/P2 y E/C1) y sus respectivos accesorios que permite obtener los valores de resistencia de manera instantánea, aplicando el método respectivo.

### Configuración del equipo para la medición

Para determinar los valores de medición de la resistencia de puesta a tierra de los sistemas existentes se utiliza el método del 62% tomando en cuenta los pasos que se detalla en la Figura 7.

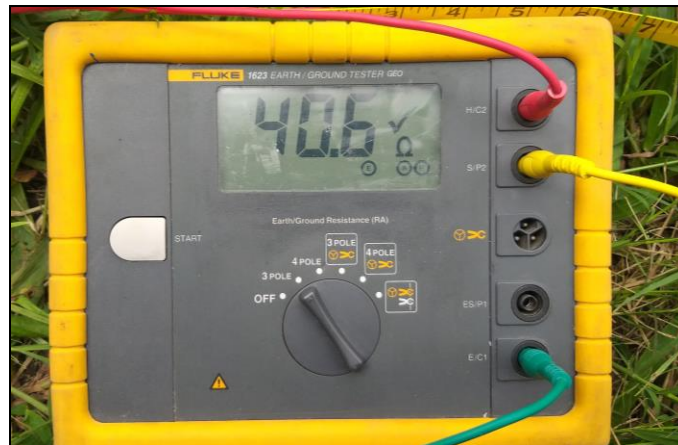


Fig. 15. Medidor de resistencia de tierra  
Fuente: (Autor, 2021).

Los electrodos de corriente, potencial y sistema a medirse se conectan a las entradas H/C2, S/P2 y E/C1 del telurómetro respectivamente, como se ilustra en la Figura 15.

## 2.4 Análisis del estado actual de las puestas a tierra existentes

En esta parte se describe las condiciones actuales de los sistemas de puesta a tierra en lo que respecta a su construcción, funcionalidad y materiales. Además, se determina el valor de la resistencia de cada sistema y se realiza un análisis general del estado actual de las puestas a tierra.

### 2.4.1 Descripción y medición de la puesta a tierra, bobina de tesla y laboratorios

Los sistemas de puesta a tierra corresponden a los proyectos de tesis de la CONSTRUCCIÓN DE UNA BOBINA DE TESLA PARA LA GENERACIÓN Y CONTROL DE ALTO VOLTAJE y DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO, ILUMINACIÓN Y SEGURIDAD DE LOS LABORATORIOS que se encuentran ubicados en la parte posterior del edificio CIELE tal como se indica en las Figuras 16 y 17. Fueron implementados en el año 2013 y 2014 respectivamente y debido a que han existido modificaciones en cuanto a las instalaciones eléctricas y ubicación física de maquinarias, estas puestas a tierra fueron interconectadas entre sí, pero actualmente estos dos sistemas no están en funcionamiento.





Fig. 16. Puesta tierra de la Bobina de Tesla.  
Fuente: (Autor, 2021)



Fig. 17. Malla existente  
Fuente: (Autor, 2021)

Se puede visualizar en Figura 16 es un sistema radial y cuenta con dos electrodos de copperweld de 1.8m de longitud unidos entre sí con el conductor de cobre calibre #2 por medio de una suelda exotérmica y un conector atornillado, se debe indicar que en su momento se realizaron dos pozos de un metro de profundidad como se puede observar en la Figura 17 y poder enterrar los dos electrodos; donde en este espacio se realizó el respectivo tratamiento con sal, arcilla, agua, carbón y gel.



Fig. 18. Pozo del electrodo de puesta a tierra de la bobina de tesla.  
Fuente: (Autor, 2021)

Por otra parte, el sistema de la Figura 18 es de tipo malla cuenta con cuatro electrodos de 1.8m de longitud unidos al conductor de cobre calibre # 2 por medio de sueldas exotérmicas; donde los electrodos en su momento fueron instalados en un pozo de 2m rellenados previamente con tierra de cultivos con el respectivo compuesto químico GEM.

En la inspección realizada se pudo verificar que una de las varillas de la puesta a tierra correspondiente al proyecto de la Bobina de Tesla esta interconectado a la malla principal, tal como se indica en la Figura 19.



Fig. 19. Conexión de la puesta a tierra de la bobina de tesla y la malla principal.  
Fuente: (Autor, 2021)

La conexión que se puede apreciar en la Figura 19, se realizó debido a que la malla se construyó junto a la puesta a tierra de la Bobina de Tesla.

### **Medición de la resistencia**

Para el presente trabajo se procedió a tomar mediciones que corresponde a la malla 4x2m de longitud la cual están interconectada y las mismas se encuentran desconectadas, por lo cual cumple con el requisito para la medición.

La medición se realiza de acuerdo a lo indicado en la parte de configuración del equipo de medición, aplicando el método del 62%. Se ubica el electrodo de corriente a 24m como resultado de 5 veces la mayor longitud de la malla, tal como se indica en la Figura 20.



Fig. 20. Ubicación para la medición de la resistencia de puesta a tierra de la malla.

Fuente: (Autor, 2021)

Por otra parte, se ubica el electrodo de potencial al 62% de la distancia “d” y se conecta el equipo de medición al sistema existente tal como se indica en la Figura 21.



Fig. 21. Conexión del equipo de medición con la tierra de la malla y bobina de tesla.  
Fuente: (Autor, 2021)

Una vez realizado las mediciones se obtiene los valores de resistencia, tal como se indica en la Tabla B1 del anexo B.

De acuerdo a la Tabla B1 el valor de resistencia al 62 % es de  $7.59\Omega$ . Para mayor precisión y de acuerdo a la norma se ubica el electrodo de potencial al  $\pm 10\%$  de la primera ubicación, obteniendo valores de resistencia de  $7.20\Omega$  (52%) y de  $7.85\Omega$  (72%).

Una vez tabulado los datos se procede a la realización de la gráfica del comportamiento de la curva de resistencia conforme se desplaza el electrodo de potencial tal como se indica en la Figura 22.

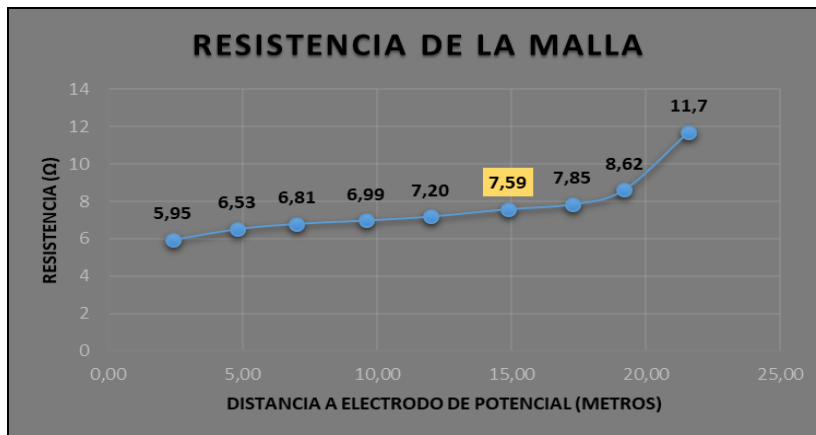


Fig. 22. Curva del comportamiento de la resistencia de la malla y bobina de tesla.  
Fuente: (Autor, 2021)



Para obtener un valor promedio de la resistencia se calcula con base en los valores del 52%, 62% y 72%, obteniendo un valor de  $7,54\Omega$ .

#### 2.4.2 Descripción y medición de la puesta a tierra de la red de entrenamiento de distribución Smart Grid

Con respecto al sistema de puesta a tierra correspondiente al proyecto de tesis del IMPLANTACIÓN DE UNA RED DE ENTRENAMIENTO DE DISTRIBUCIÓN SMART GRID se determina que es un sistema radial que fue implementado en el año 2017 y se encuentra ubicado al pie del tablero de protección y control; conectándose el mismo a la barra de tierra del módulo.



Fig. 23. Módulo de control y fuerza.  
Fuente: (Autor, 2021)

En la Figura 23 se indica que es un sistema radial por lo que cuenta con un electrodo de copperweld de 1.50m de longitud unido con el conductor de cobre calibre # 6 por medio de un conector.



Fig. 24. Conexión del electrodo  
Fuente: (Autor, 2021)

Además, se debe mencionar que la conexión que se puede observar en la Figura 24 el electrodo en su momento fue enterrado sin realizar ningún estudio o tratamiento de la tierra.

## Medición de la resistencia

El sistema a medirse corresponde a una varilla de 1,5m de longitud la cual está interconectado al sistema de la implantación de una red de entrenamiento de distribución Smart Grid; donde para la correcta medición se procedió a desconectar el sistema de puesta a tierra.

La medición se realiza de acuerdo a lo indicado en la parte de configuración del equipo de medición, aplicando el método del 62%. Se ubica el electrodo de corriente a 14m como resultado de 5 veces la mayor longitud de la malla, tal como se indica en la Figura 25.



Fig. 25. Ubicación para la medición de la resistencia de puesta a tierra del sistema Smart Grid.  
Fuente: (Autor, 2021)

Por otra parte, se ubica el electrodo de potencial al 62% de la distancia “**d**” y se conecta el equipo de medición al sistema existente tal como se indica en la Figura 26.



Fig. 26. Conexión del equipo de medición con la tierra del sistema Smart Grid.  
Fuente: (Autor, 2021)

Una vez realizado las mediciones se obtiene los valores de resistencia, tal como se indica en la Tabla B.2 del anexo B.

De acuerdo a la Tabla B.2 el valor de resistencia al 62 % es de  $80.5\Omega$ . Para confirmar la medición anterior y de acuerdo a la norma se ubica el electrodo de potencial al  $\pm 10\%$  de la primera ubicación, obteniendo valores de resistencia de  $80.0\Omega$  (52%) y de  $81.5\Omega$  (72%).

Una vez tabulado los datos se procede a la realización de la gráfica del comportamiento de la curva de resistencia conforme se desplaza el electrodo de potencial tal como se indica en la Figura 27.

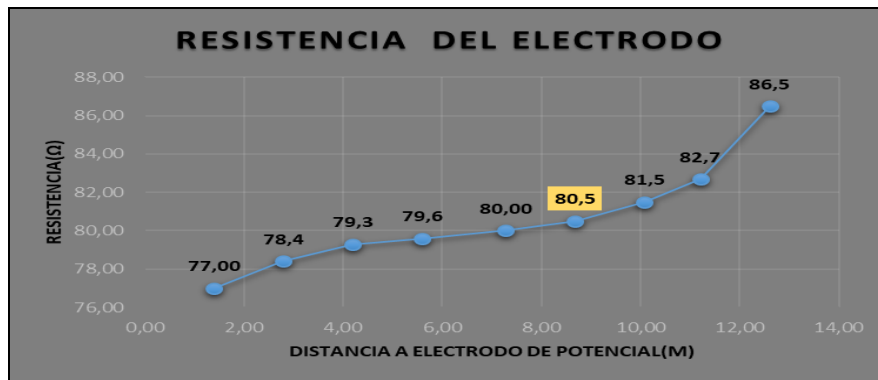


Fig. 27. Curva del comportamiento de la resistencia del sistema smart grid.  
Fuente: (Autor, 2021)

Para obtener un valor promedio de la resistencia se calcula con base en los valores del 52%, 62% y 72%, obteniendo un valor de  $80,6\Omega$ .

### 2.4.3 Descripción y medición de la puesta a tierra del sistema de generación solar fotovoltaica

El sistema de puesta a tierra corresponde al proyecto de tesis de la IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CON INTEGRACIÓN A LA RED ELÉCTRICA que se encuentra ubicado en la parte posterior del edificio CIELE tal como se indica en las Figuras 28. Fue implementando en el año 2017, donde la estructura del panel solar está conectado directamente a tierra.



Fig. 28. Puesta a tierra del sistema fotovoltaico  
Fuente: (Autor, 2021)

El sistema de la Figura 29 es radial y cuenta con un electrodo de copperweld de 1.80m de longitud unido con el conductor de cobre calibre # 10 por medio de un conector.



Fig. 29. Electrodo en el pozo  
Fuente: (Autor, 2021)

Además, se debe mencionar que la conexión que se puede observar en la Figura 29 el electrodo en su momento fue enterrado sin realizar ningún estudio o tratamiento de la tierra.

Por otra parte, se debe indicar que junto a la estructura del sistema fotovoltaico se encuentra construido otro proyecto de tesis correspondiente a la IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICROGENERACIÓN EÓLICA donde su estructura está conectado al mismo sistema de puesta a tierra del sistema fotovoltaico y es por eso que se tiene dos conductores unidos a la varilla, tal como se indica en la Figura 29.

### **Medición de la resistencia**

El sistema a medirse corresponde a una varilla de 1,8m de longitud la cual está interconectado al sistema de generación solar y micro generación eólica; donde para la correcta medición se procedió a desconectar el sistema de puesta a tierra.

La medición se realiza de acuerdo a lo indicado en la parte de configuración del equipo de medición, aplicando el método del 62%. Se ubica el electrodo de corriente a 14m como resultado de 5 veces la mayor longitud de la malla, tal como se indica en la Figura 30.



Fig. 30. Ubicación para la medición de la resistencia de puesta a tierra del sistema de generación.  
Fuente: (Autor, 2021)

Por otra parte, se ubica el electrodo de potencial al 62% de la distancia “**d**” y se conecta el equipo de medición al sistema existente tal como se indica en la Figura 31.



Fig. 31. Conexión del equipo de medición con la tierra del sistema de generación fotovoltaica y solar.  
Fuente: (Autor, 2021)

Una vez realizado las mediciones se obtiene los valores de resistencia, tal como se indica en la Tabla B.3 del anexo B.

De acuerdo a la Tabla B.3. el valor de resistencia al 62 % es de  $33.5\Omega$ . Para confirmar la medición anterior y de acuerdo a la norma se ubica el electrodo de potencial al  $\pm 10\%$  de la primera ubicación, obteniendo valores de resistencia de  $32.8\Omega$  (52%) y de  $34.3\Omega$  (72%).

Una vez tabulado los datos se procede a la realización de la gráfica del comportamiento de la curva de resistencia conforme se desplaza el electrodo de potencial tal como se indica en la Figura 32.



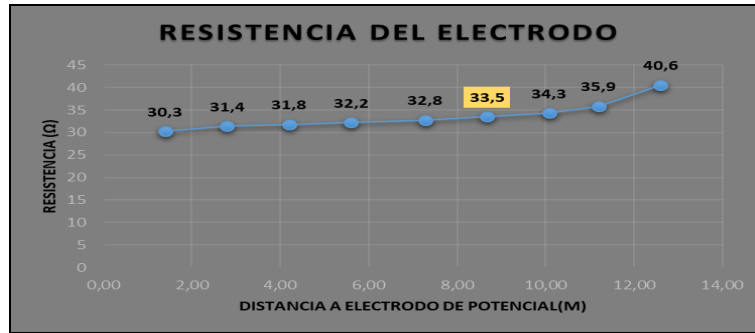


Fig. 32.. Curva del comportamiento de la resistencia del sistema de generación fotovoltaica y solar.  
Fuente: (Autor, 2021)

Para obtener un valor promedio de la resistencia se calcula con base en los valores del 52%, 62% y 72%, obteniendo un valor de 33,53 Ω.

## 2.5 Análisis general de las puestas a tierras existentes y mediciones de resistencia

En la parte posterior del edificio de la Carrera de Electricidad existen cuatro sistemas de puestas a tierra; fundamentalmente, se tiene dos sistemas radiales para la protección respectiva de sus equipos (sistema fotovoltaico y Smart Grid) los cuales están en funcionamiento. Además, se tiene una malla que se encuentra interconectada con un sistema radial que no están en funcionamiento por las reconfiguraciones realizadas en las instalaciones internas del edificio.

Los cuatro sistemas de puesta a tierra no tienen una señalización para poder establecer su ubicación exacta, los cuales fueron construidos sin realizar un respectivo estudio para determinar su ubicación, su esquema (radial o malla), tratamiento de suelo y elementos a utilizarse.

Por otra parte, los valores de la medición de la resistencia de puesta a tierra dependen del tipo de sistema de puesta a tierra, dimensión de la varilla y del tratamiento que se haya realizado al suelo; y se obtiene aplicando el método del 62%.

De acuerdo a los valores calculados de resistencia, en la configuración tipo malla el valor de la resistencia es bajo comparado a los otros dos sistemas que son de una sola varilla. El valor de resistencia del proyecto Smart Grid es mucho mayor en comparación al valor del sistema de generación solar y fotovoltaica a pesar de que los dos sistemas son radiales con una sola varilla; entonces el principal factor que influye es la longitud de las varillas ya que una mide 1.50m y 1.80m respectivamente.

Debido a las condiciones encontradas se determina que nunca se ha realizado un mantenimiento a ningún sistema de puesta a tierra; donde no existe un pozo de revisión que ayude a verificar el estado o realizar pruebas del sistema.

## 2.6 Análisis de la carga instalada y fuente de suministro de energía

Como complemento de la verificación del estado actual de los sistemas de puesta a tierra, se revisó la carga instalada en los laboratorios y oficinas del edificio, tableros de distribución, así como la fuente que les suministra de energía; tomando en cuenta que de una u otra manera serán los elementos que se aterricen a la tierra reconfigurada dependiendo del tipo de esquema de tierra que tenga las instalaciones del edificio.

Con este antecedente, se verificó que el edificio cuenta con áreas de oficina para los docentes y cinco laboratorios que cuentan con diferentes equipos eléctricos y electrónicos para las prácticas de los estudiantes. Estas instalaciones funcionan con la energía suministrada por el transformador trifásico de 75 kVA que se encuentra ubicado junto al Auditorio Agustín Cueva tal como se muestra en la Figura 33, el cual cuenta con su respectiva puesta a tierra.



Fig. 33. Transformador trifásico de 75 kVA junto al Auditorio Agustín Cueva  
Fuente: (Autor, 2021)

Del transformador se deriva una red trifásica subterránea de bajo voltaje hasta el poste que esta frente al edificio de la carrera de electricidad, donde en este punto se conecta la acometida trifásica (fases más neutro del sistema) que va hasta el tablero principal que cuenta el edificio, el mismo que cuenta con la barra de tierra conectado al neutro del sistema.

Por otra parte, las instalaciones internas del edificio no cuentan con un sistema de puesta a tierra, por lo tanto, la protección de las mismas se da a través del neutro del sistema que está aterrizado a tierra; es decir que se tiene un esquema TN.

Además, una vez revisado la carga del edificio se determina que el Laboratorio de Potencia es el que cuenta con la mayor parte de equipos electrónicos los cuales deben tener la protección correspondiente, sin embargo, no están referenciados a un sistema de puesta a tierra.



## CAPITULO 3

### Reconfiguración de la puesta a tierra existente

En este capítulo se presenta el diseño de la malla a tierra de acuerdo a la norma IEEE 80 Std-2013, para realizar la reconfiguración del sistema de puesta a tierra del edificio de la carrera de Electricidad, para obtener los parámetros principales como los voltajes de paso y de toque tolerables para la persona y la resistencia mínima que debe cumplir. Además, se muestra el desarrollo del proceso de construcción de la nueva malla.

#### 3.1. Consideraciones para la reconfiguración del sistema de puesta a tierra

Una vez que se verificó el estado actual de los sistemas de puesta a tierra y calculado el valor de las resistencias, se determina que la malla existente y que no está funcionando tiene el valor más bajo de resistencia de  $7,54\Omega$ ; por lo tanto, es necesario realizar la reconfiguración del sistema existente porque no se cumple con el objetivo de tener una resistencia de tierra menor a  $5\ \Omega$ .

Otra consideración para realizar la reconfiguración de la tierra es que los materiales instalados están deteriorados y no se ha realizado ningún tipo de mantenimiento, entonces es necesario construir un nuevo sistema de puesta a tierra que se interconectara con la malla existente; el cual contara con su respectivo pozo de revisión.

#### 3.2. Metodología para el diseño de la malla utilizando la IEEE Std 80-2013

Para el diseño y construcción del nuevo sistema de puesta a tierra es necesario considerar el procedimiento que determina la norma IEEE Std 80-2013, donde los principales parámetros que se toma en cuenta son las características del suelo con su respectivo estudio de resistividad y área adecuada con el suficiente espacio para la construcción. Además, se deben dimensionar el conductor, calcular los voltajes de paso y de toque y resistencia de la malla teórica, de tal forma de ir verificando si el diseño que se está considerando cumple las exigencias de la norma previo a su instalación, donde estos valores deben ser ratificados una vez que se realice las mediciones respectivas con el telurómetro una vez que se construya la malla.

En la Figura 34 se muestra el diagrama general para el diseño de un sistema de puesta a tierra bajo las consideraciones de la norma IEEE 80-2013.

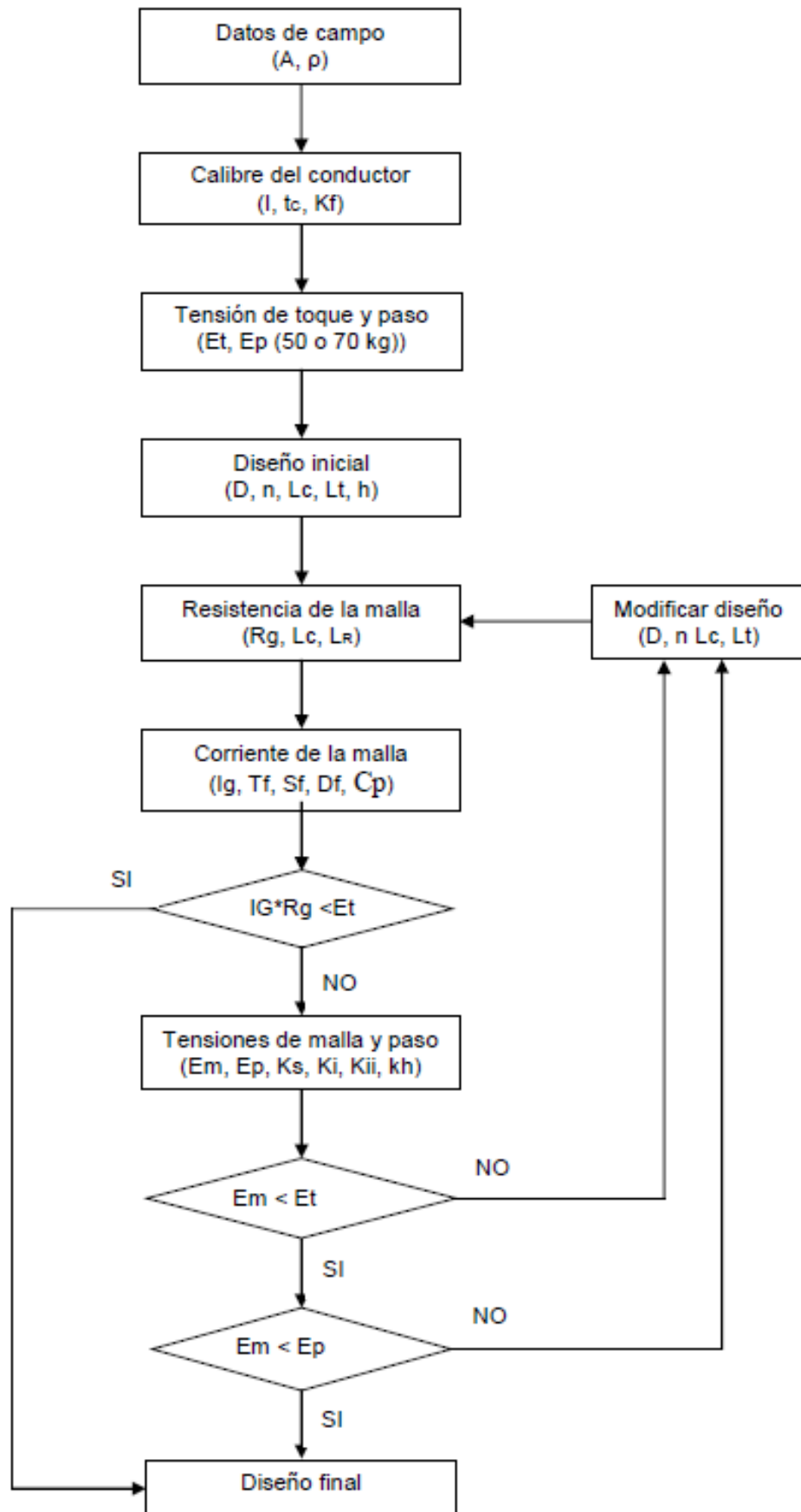


Fig. 34. Diagrama de bloques del procedimiento de diseño  
Fuente: (IEEE 80, 2013)

A continuación, se describe un breve resumen de los pasos a indicados en la Figura 34, detallando las principales ecuaciones a utilizar en el diseño.

### 3.2.1 Datos de campo

Se determina la ubicación donde se construirá la malla, la cual debe tener un área adecuada. En este sector debe determinar la resistividad para el modelamiento del terreno, mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = 2\pi aR \quad (\text{EC.1})$$

a = distancia de separación de electrodos.

R = valor de la resistencia en ohmios leída en el telurómetro.

Para el modelamiento del suelo no homogéneo y poder determinar la resistividad equivalente se utiliza la ecuación:

$$\rho_{eq} = \frac{L_r \rho_1 \rho_2}{\rho_2 (H - h) + \rho_1 (L_r + h - H)} (\Omega.m) \quad (\text{EC.2})$$

H = Profundidad de la primera capa, determinado por el método de Sunde.

h = Profundidad del aterramiento de la red.

L<sub>r</sub> = Longitud de las varillas.

### 3.2.2 Dimensionamiento calibre del conductor

Para determinar el calibre apropiado del conductor se calcula con base en la corriente de cortocircuito que podría circular por la malla, el tiempo de despeje de la falla y el tipo de material de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$A_{kcmil} = I_{CC3\phi asim} \times K_f \sqrt{t_c} \quad (\text{EC.3})$$

La corriente de cortocircuito asimétrica en kA, se determina mediante la ecuación:

$$I_{CC3\phi asim} = D_f \times I_{CC3\phi sim} \quad (\text{EC.4})$$

$$I_{CC3\phi sim} = \frac{S}{\sqrt{3} * V_{sec} * Z_T} \quad (\text{EC.5})$$

S = Potencia en kVA del transformador.

V<sub>sec</sub> = Voltaje en el secundario del transformador.

$Z_T$  = Impedancia del transformador en pu.

$D_f$  = Factor de decremento para tener en cuenta el componente DC, valor que se considera de acuerdo a lo que indica la norma IEEE Std 80-2013 en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores típicos del factor de decremento.

Duración de falla, tf		Factor de decremento, Df			
Segundos	Ciclos a 60 Hz	X/R=10	X/R=20	X/R=30	X/R=40
0.00833	0.5	1.756	1.648	1.675	1.688
0.05	3	1.232	1.378	1.462	1.515
0.1	6	1.125	1.232	1.316	1.378
0.2	12	1.064	1.125	1.181	1.232
0.3	18	1.043	1.085	1.125	1.163
0.4	24	1.033	1.064	1.095	1.125
0.5	30	1.026	1.052	1.077	1.101
0.75	45	1.018	1.035	1.052	1.068
1	60	1.013	1.026	1.039	1.052

Fuente: Adaptado de (IEEE 80, 2013)

$t_c$  = Tiempo máximo de duración de la falla de corriente.

$K_f$  = Constante para el material a temperatura ambiente  $T_a=40^\circ\text{C}$ , que se obtiene de la Tabla 8.

Tabla 8. Constante Kf para diferentes tipos de material del conductor.

Material	Conductividad (%)	T m ( C )	Kf
Cobre recocido estirado blando	100.0	1083	7
Cobre estirado en frío comercial	97	1084	7,06
Cobre estirado en frío comercial	97	250	11,78
Alambre de acero revestido de cobre	40	1084	10,45
Alambre de acero revestido de cobre	30	1084	12,06
Varilla de acero revestido de cobre	17	1084	14,64
Alambre de acero revestido de aluminio	20,3	657	17,26

Fuente: Adaptado de (IEEE 80, 2013)

### 3.2.3 Determinación de la tensión de toque y de paso

Se determina las tensiones tolerables de toque y de paso de acuerdo al peso corporal de la persona y tiempo de duración de la falla, de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$E_{paso} = (1000 + 6C_s \times \rho_s) \frac{k}{\sqrt{t_s}} \quad (\text{EC.6})$$

$$E_{toque} = (1000 + 1.5C_s \times \rho_s) \frac{k}{\sqrt{t_s}} \quad (EC.7)$$

$k$  = Constante empírica de acuerdo al peso corporal de la persona de 50kg ( $k=0,116$ ).

$t_s$  = Tiempo de duración de falla.

$C_s$  = Coeficiente en función del terreno que representa el efecto de reducción de la resistividad y espesor del material de la superficie mayor respecto a la resistividad del suelo; dado por la ecuación:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0.09} \quad (EC.8)$$

$\rho_s$  = resistividad aparente de la capa superficial (Valor entre 2000 a 3000  $\Omega \cdot m$ )

$\rho$  = Es la resistividad del terreno ( $\Omega \cdot m$ )

$h_s$  = Espesor de la capa superficial que varía entre 0,08 y 0,15m de acuerdo a la norma IEEE Std 80-2013

### 3.2.4 Diseño inicial de la malla de puesta a tierra

El diseño preliminar, debe principalmente incluir una malla en el área de la puesta a tierra, más los conductores adecuados de cruce, espaciamiento entre conductores, la localización de las varillas y la profundidad de la instalación.

El cálculo de la longitud del conductor horizontal  $L_C$  y el total del conductor  $L_T$ , se obtiene de las siguientes ecuaciones:

$$L_C = M1 * L1 + M2 * L2 \quad (EC.9)$$

$$L_T = L_C + N * L_V \quad (EC.10)$$

$L1$  y  $L2$  = dimensiones de la malla.

$M1$  y  $M2$  = conductores de cruce.

$N$  = número de conductores.

$L_V$  = longitud del electrodo.

### 3.2.5 Determinación de la resistencia de la malla

Una vez determinado el área donde se construirá el sistema de puesta a tierra, la longitud total del conductor, profundidad de enterramiento y conocido el valor de la resistividad aparente del terreno, se calcula la resistencia de la malla de puesta a tierra.

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

(EC.11)

$\rho$  = Es la resistividad del terreno.

$L_T$  = Longitud total del conductor.

$A$  = Área de la malla de puesta a tierra.

$h$  = Profundidad de enterramiento de la malla de puesta a tierra.

### 3.2.6 Determinación de la corriente máxima de malla

Se determina la corriente  $I_G$  a disipar por la malla para evitar un sobredimensionamiento de la malla de puesta a tierra, considerando sólo una parte de la corriente total de falla que fluye a través de la malla hacia una tierra remota. La corriente  $I_G$  debe considerar la corriente máxima de cortocircuito, factor de decremento y porcentaje de disipación de corriente, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$I_G = D_f * S_f * I_{CC3\phi asim} \quad (EC.12)$$

$S_f$  = es el factor de división de la corriente de falla, que se determina a partir de la ecuación:

$$S_f = \frac{Z_{eq}}{R_g + Z_{eq}} \quad (EC.13)$$

$Z_{eq}$  = Es la impedancia equivalente del sistema considerando el lugar donde ocurre la falla.

### 3.2.7 Elevación del potencial de tierra "GPR"

Si el GPR del diseño preliminar es menor que la tensión tolerable de toque no es necesario realizar más cálculos y está dado por la ecuación:

$$GPR = I_G \times R_g \quad (EC.14)$$

### 3.2.8 Tensión de malla y la tensión real de paso

Si no se cumple la condición anterior, se calcula la tensión de malla y la tensión de paso a partir de las siguientes ecuaciones:

$$E_m = \frac{\rho \times K_m \times K_i \times I_G}{L_M} \quad (EC.15)$$

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

$n$  = Representa el número de conductores paralelos de una malla.

$$n = n_a \times n_b \times n_c \times n_d \quad (EC.17)$$

$$n_a = \frac{2 \times L_C}{L_p} \quad (EC.18)$$

$K_h$  = Factor de corrección que tiene en cuenta los efectos de la profundidad de la malla dado por la ecuación:

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_o}} \quad (EC.19)$$

El factor de corrección  $K_i$ , se define como:

$$K_i = 0,644 + 0,148 \times n \quad (EC.20)$$

Para mallas con barras en las esquinas y/o en el perímetro, la longitud efectiva enterrada  $L_M$  se define como:

$$L_M = L_{C+} \left[ 1,55 + 1,22 \left( \frac{L_R}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R \quad (EC.21)$$

$$L_R = n_r \times L_r \quad (EC.22)$$

$K_m$  = Valor geométrico de espaciamento de la malla.

$K_i$  = Factor de irregularidad.

$D$  = Espaciamento entre conductores.

$d$  = Diámetro del conductor de la malla en metros.

$K_{ii}$  = Factor de corrección.

$L_p$  = Longitud del perímetro de la malla en m.

$L_x, L_y$  = Longitud de largo y ancho de la malla

$L_R$  = Longitud total de todas las varillas

$n_r$  = Numero de varillas

$L_r$  = Longitud de cada varilla

Si el voltaje de malla calculado está por debajo del voltaje de contacto tolerable, el diseño puede estar completo. Se termina con el cálculo del voltaje real de paso está dado por las ecuaciones:

$$E_s = \frac{\rho \times K_s \times K_i \times I_G}{L_s} \quad (\text{EC.23})$$

$$L_s = 0.75 \times L_C + 0.85 \times L_R \quad (\text{EC.24})$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 \times h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] \quad (\text{EC.25})$$

$K_s$  = Factor de espaciamiento para tensión de paso.

$L_s$  = Longitud efectiva del conductor enterrado.

Si el voltaje de malla calculado es menor que la tensión tolerable de toque, se requiere completar el diseño. Si la tensión de malla calculada es mayor que la tensión tolerable de toque, el diseño debe ser modificado.

Si ambas tensiones calculadas de toque y de paso son menores que las tensiones tolerables, el diseño sólo necesita los refinamientos requeridos para proporcionar acceso a las bajantes de los equipos. Si no, el diseño preliminar debe ser modificado. (IEEE Std 80-2013)

### 3.3 Cálculo de los parámetros para la malla

De acuerdo al procedimiento de diseño que se presenta en la Figura 34 se procede a calcular los parámetros para la implementación de la malla.



### 3.3.1 Determinación del área para la ubicación de la malla

El área donde existe el espacio adecuado es en el patio de pruebas ubicado la parte posterior de la edificación, tal como se indica en la Figura 35.

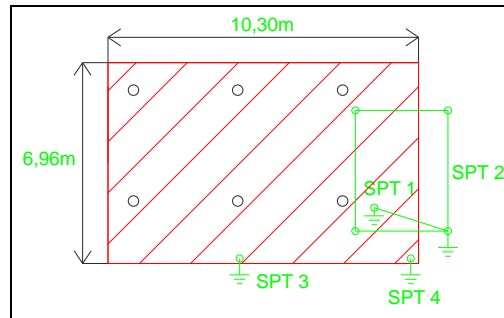


Fig. 35. Lugar a reconfigurarse el sistema de puesta a tierra.  
Fuente: (Autor, 2021)

Se considera la ubicación, indicada en la Figura 35 por el espacio existente y la cercanía de la malla existente que será conectado al nuevo sistema de puesta a tierra. El patio de pruebas tiene una dimensión de 10.30x6.96m, entonces para la reconfiguración se utilizará una parte de este sitio, en un área de 4x4m.

### 3.3.2 Cálculo de la resistividad

Se procede a determinar la resistividad del terreno donde se construirá la nueva malla, para lo cual se realiza las mediciones en cuatro direcciones aplicando el método de Wenner con la ayuda del Telurómetro.



Fig. 36. Medición Wenner.  
Fuente: (Autor, 2021)

En la Figura 36, se muestra la medición realizada dando como resultado diferentes valores de resistencia [R] para determinar la resistividad del suelo de acuerdo a la distancia “a”.

Los valores de resistividad se determinan mediante la ecuación 1 y los resultados se indican en el Anexo C.

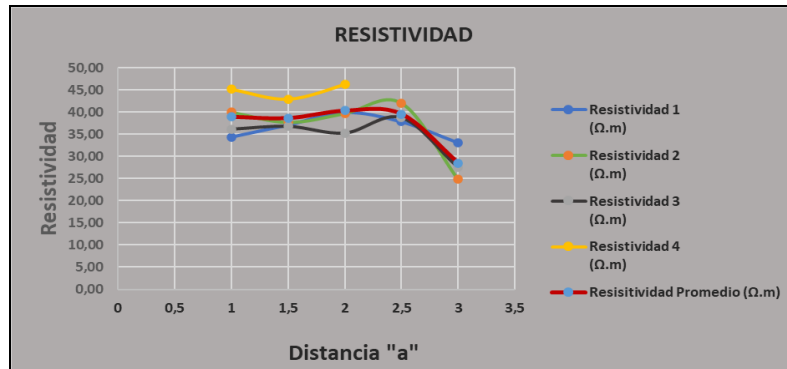


Fig. 37. Resistividad  
Fuente: (Autor, 2021)

En la Figura 37 Se puede apreciar el comportamiento de la curva de resistividad para diferentes distancias “a”, determinándose un suelo no homogéneo debido a la forma descendente de la curva promedio.

De acuerdo a los datos obtenidos se aplica el método Sunde para obtener una buena aproximación del terreno representado por dos capas el cual permite determinar la altura de la capa superior, tal como se indica en el Anexo D.

Debido a que la altura es menor a la longitud de la varilla que se instalará (1.8m) se procede a calcular la resistividad aparente de acuerdo a la ecuación 2. En el cálculo se toma en cuenta la altura de la primera capa, longitud de la varilla y la altura del aterramiento, obteniendo como resultado una resistividad de 31.70  $\Omega\text{m}$ , determinándose que el suelo es húmedo de acuerdo a la Tabla 4.

### 3.3.3 Cálculo del calibre del conductor de tierra

Para determinar el calibre del conductor se toma en cuenta la ecuación 3, donde la corriente de cortocircuito se calcula a partir de las ecuaciones 4 y 5; sin embargo, la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) determina que la corriente máxima de cortocircuito debe ser entregada por el operador de Red.

El calibre apropiado del conductor para la malla se calcula con base en la corriente de cortocircuito en el lado secundario del transformador trifásico 75 kVA, ubicado en el poste Nro. 103694, donde dicho valor fue suministrado por la empresa distribuidora EMELNORTE, que es de 4,03 kA. Además, para el cálculo se toma en cuenta la conductividad del material

(Kf). De acuerdo a la Tabla 8 se tiene un valor de 7,06 para un conductor de cobre estirado comercial.

Con los datos indicados anteriormente se determina que el calibre del conductor es 20,12 kcmil que equivale a 10,19 mm<sup>2</sup> que corresponde a un calibre mucho menor indicado para malla a tierra en la Norma Ecuatoriana de Construcción que es de 53,5mm<sup>2</sup> correspondiente a un calibre Nro. 1/0 AWG.

### 3.3.4 Cálculo de los voltajes de paso y toque tolerables por una persona

Las tensiones de límites peligrosas definidas por la IEEE Std 80-2013, se determinan para el diseño de la malla de tierra, el cual se considera una constante para el promedio de una persona de 50 Kg (k=0.116) y la resistividad del terreno. Por otra parte, se toma en cuenta la resistividad del material de la capa superficial (2000 Ω.m), así como el espesor del material de la superficie (0,10m)

Determinamos el voltaje de paso y de toque, de acuerdo a las ecuaciones 6, 7 y 8; obteniendo los siguientes valores:

$$C_s = 0,695 ; E_{paso50} = 1531,38 ; E_{toque50} = 505,88$$

### 3.3.5 Dimensionamiento de la malla de puesta a tierra

Una vez determinado el sector donde se realizará la reconfiguración del sistema de puesta a tierra y que corresponde a un área de 16m<sup>2</sup> se procede a dimensionar la configuración de la malla tal como se indica en la Figura 38 y cuantificar los principales elementos a utilizarse.

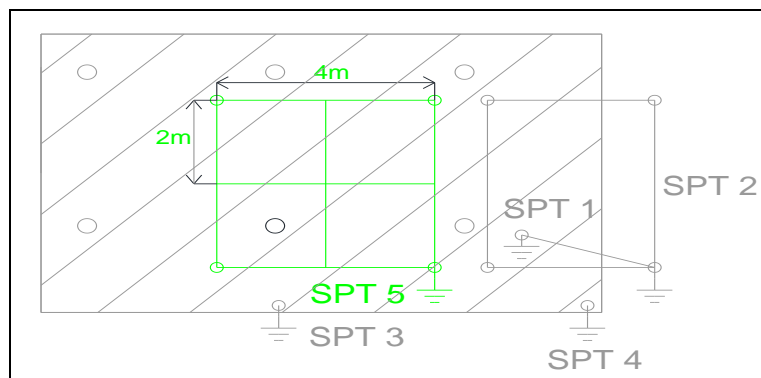


Fig. 38. Configuración del sistema de puesta a tierra.  
Fuente: (Autor, 2021)

Los datos de la malla se indican en la tabla siguiente:

Tabla 9. Datos de la malla

DATOS DE LA MALLA	
Largo(L1)	4m
Ancho(L2)	4m
Area (A)	16m <sup>2</sup>
Profundidad (h)	0,5m
Conductores largo(M1)	3
Conductores ancho(M2)	3
Espaciamiento (D)	2m
Electrodos(N)	4
Longitud varilla (Lv)	1,8m

Fuente: (Autor, 2021)

El cálculo de la longitud del conductor horizontal  $L_C$  y el total del conductor  $L_T$ , se obtiene de las ecuaciones 9 y 10, obteniendo los siguientes valores:  $L_C=24m$ ;  $L_T=31,2m$ .

### 3.3.6 Cálculo de la resistencia de la malla

A partir de los parámetros que involucra el diseño físico de la malla, se determina el valor de la resistencia con base en la ecuación 11, obteniendo un valor de  $3,92 \Omega$ .

### 3.3.7 Cálculo de la corriente máxima que circula por la malla

El valor máximo de diseño de la corriente de falla a tierra que fluye a través de la malla se determina a partir del factor de decremento, que depende de la relación  $X/R$  en el punto de la falla. En la Norma IEEE Std 241- 1990 para el transformador de distribución de 75 kVA la relación  $X/R$  es igual a 2, sin embargo, este valor no está considerado en la tabla 3.1 por lo tanto se aproxima a la relación  $X/R= 10$ . A partir de este dato y para un tiempo de falla de 0,5s se obtiene el factor  $D_f$  de 1,026.

El otro factor que considerar es factor de división de corriente que se determina a partir de la ecuación 13. La impedancia equivalente se obtiene de a partir de los datos suministrado por EMELNORTE en el punto de falla; consiguiendo un valor de  $s_f$  igual a 0,02.

Con los datos anteriores el resultado de la corriente  $I_G$  es igual a 82,70 Amp.

### 3.3.8 Cálculo de la elevación del potencial de tierra “GPR”

La elevación de potencial de tierra se calcula a partir de la ecuación 14, obteniendo un valor de 310,22V. Se determina que el GPR es menor a la tensión de toque; por lo tanto, el diseño preliminar cumple las condiciones de seguridad para las personas e instalaciones.

De no cumplirse la condición anterior se continua el procedimiento indicado en la Figura 34 para calcular la tensión de malla, de tal forma de evaluar este dato con respecto a la tensión de toque y determinar los parámetros a modificar en el diseño preliminar.

### **3.4 Proceso de construcción de la nueva malla**

Una vez determinado la cantidad de materiales para la construcción de la nueva malla y verificado que el diseño propuesto cumple con las condiciones de protección se procede a la implementación del mismo; para lo cual, se sigue el procedimiento que se detalla a continuación:

#### **3.4.1 Preparación del sitio**

Conocido las dimensiones de la nueva malla, la ubicación de los sistemas de puestas a tierras existentes, el espacio del pozo de revisión y la infraestructura existente en la parte posterior del edificio, se procede a delimitar el área de 16m<sup>2</sup> donde se construyó la nueva malla, tal como se indica en la Figura 39.



Fig. 39. Área de la malla.  
Fuente: (Autor, 2021)

En la Figura 39. se muestra el área de la malla, donde previamente se retiró el ripio existente de tal forma que se pueda realizar los trabajos de apertura de zanjas y huecos de la manera correcta y tener el suficiente espacio para la instalación de los electrodos, tendido de conductor y tratamiento de la tierra.

#### **3.4.2 Excavación de zanjas y huecos para los electrodos, conductor y pozo**

Se realiza las excavaciones necesarias para realizar la instalación de los electrodos, tendido del conductor e instalación del pozo construido de la siguiente manera:

## Excavación de zanjas

Con el diseño realizado de la malla en lo que corresponde a sus dimensiones, separación de conductor y altura de enterramiento, se procede a la excavación de la zanja en el área prevista a una profundidad de 0,5cm como se muestra en la Figura 40.



Fig. 40. Excavación de la zanja.  
Fuente: (Autor, 2021)

En la Figura 40 se observa las zanjas terminadas para el tendido de conductor con una separación de 2m, donde además se instarán las varillas de cobre y el pozo de revisión.

## Excavación de huecos para el pozo y electrodos

Como complemento de la apertura de las zanjas se procede a realizar la excavación del hueco para instalar el pozo de revisión, como se muestra en la Figura 41.



Fig. 41. Excavación del hueco para el pozo.  
Fuente: (Autor, 2021)

Las dimensiones del hueco del pozo son 50cm de ancho y de largo y una profundidad de 60cm y está en función de la profundidad de enterramiento de la malla.



Por otra parte, se realizó la excavación de los cuatro huecos en las esquinas de la malla para la instalación de los electrodos, como se muestra en la Figura 42.



Fig. 42. Excavación de hueco para las varillas copperweld.  
Fuente: (Autor, 2021)

La profundidad de los huecos es de 1m a partir del nivel de los 0,5m de apertura de la zanja, para la colocación del compuesto químico que sirve para mejorar la tierra alrededor de los electrodos.

### 3.4.3 Instalación de los electrodos y tendido de conductor

Se procede a enterrar en el centro de cada hueco las varillas copperweld con alma de acero revestida de cobre de 1,8m de longitud y 16mm de espesor, tal como se indica en la Figura 43.



Fig. 43. Instalación de la varilla copperweld.  
Fuente: (Autor, 2021)

En la figura anterior se observa que la parte superior del electrodo queda libre para realizar el tratamiento químico de la tierra y la soldadura con el conductor de cobre.

Por otra parte, se procedió a extender el conductor de cobre de cobre 1/0 AWG de 19 hilos y sección de  $53,5\text{mm}^2$ , como se muestra en la Figura 44.



Fig. 44. Tendido del conductor de cobre.  
Fuente: (Autor, 2021)

El conductor se tendió por todas las zanjas que se abrieron de acuerdo al diseño, como se ilustra en la Figura 45.



Fig. 45. Tendido total del conductor de cobre.  
Fuente: (Autor, 2021)

En la figura anterior se observa el del tendido total del conductor donde se utilizó alrededor de 24m; quedando listo para soldar con las cuatro varillas copperweld.

#### **3.4.4 Tratamiento del suelo con GEM**

Para mejorar aún más la tierra donde se instaló la malla se realizó el respectivo tratamiento con el componente químico o intensificador de tierra GEM (Ground Enhancement Material) que se muestra en la Figura 46.





Fig. 46. Componente químico GEM.  
Fuente: (Autor, 2021)

El GEM de 25 lb que se observa en la Figura 46 se disolvió en una cubeta con agua (5 a 7 litros) hasta obtener una mezcla homogénea tal como se indica en las especificaciones del fabricante y se colocó en los huecos que se hicieron para los electrodos y sobre las zanjas donde se tendió el conductor de cobre y se revolvió con la tierra natural.

Tal como se indica en la Figura 47, en los huecos de los electrodos el químico se llenó de forma uniforme por pasos hasta completar el 1m de profundidad y en las zanjas se colocó sobre el conductor de cobre. Cabe mencionar que se colocó una funda de GEM por electrodo y tres fundas del químico en toda la zanja.



Fig. 47. Colocación del compuesto químico GEM  
Fuente: (Autor, 2021)

Se espera alrededor de 30 minutos para que se endurezca el GEM y luego proceder al relleno de la zanja con la misma tierra natural que fue extraída en la excavación.

### 3.4.5 Construcción pozo de revisión

Respecto a este trabajo se debe indicar que el mismo se construyó fuera de las instalaciones de la universidad debido a la restricción de la entrada de personal para su construcción. El pozo se construyó de acuerdo a las especificaciones técnicas del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER teniendo el pozo que se muestra en la Figura 48.



Fig. 48. Pozo de revisión.  
Fuente: (Autor, 2021)

Las dimensiones del pozo de revisión son de 50cm de ancho y largo con una profundidad de 60cm de tal forma que se pueda instalar la barra de tierra y realizar las conexiones de la nueva malla y las puestas a tierras existentes. Sus paredes son de hormigón con un marco metálico de pletina de acero.

Además, se construyó la tapa del pozo como se indica en la Figura 49, donde de igual manera es de hormigón y con un contramarco metálico de pletina de acero.



Fig. 49. Tapa del pozo de revisión.  
Fuente: (Autor, 2021)

La tapa está construida de tal forma que se pueda destapar de una manera fácil y tiene su respectiva identificación.

### 3.4.6 Soldadura exotérmico cable – electrodo y cable - cable

Respecto a este trabajo se debe indicar que se realizó dos tipos de soldadura, uno entre el conductor y la varilla de copperweld y el otro entre conductores de cobre tal como se muestra en la Figura 50.



Fig. 50. Soldadura exotérmica cable - varilla y cable – cable.  
Fuente: (Autor, 2021)

Para realizar los dos tipos de soldaduras exotérmica se utiliza dos tipos de moldes de grafito como se muestra en la Figura 51.



Fig. 51. Tipos de moldes para la soldadura exotérmica.  
Fuente: (Autor, 2021)

Los moldes permiten tener una conexión del conductor con la varilla copperweld en forma de T y la conexión entre conductores en forma de cruz.

En la Figura 52 se muestra el proceso de soldadura, donde una vez que se arma el molde entre los elementos a soldar, se coloca la suelta y un disco de aluminio; luego se agrega la pólvora para que a través de un chispero producir una reacción química y se tenga la respectiva soldadura.



Fig. 52. Proceso de soldadura exotérmica.

Fuente: (Autor, 2021)

La cantidad de suelda utilizada es de acuerdo al tipo de soldadura donde para la unión entre el conductor y varilla se utiliza 90gr y entre conductores 65gr; esto con la finalidad de tener una soldadura correcta y su duración sea efectiva ante la corrosión para garantizar una eficiencia en el funcionamiento del sistema de puesta a tierra.

### 3.4.7 Instalación de la barra de tierra y grava en el pozo de revisión

En el pozo de revisión se instaló la barra de tierra o de aterramiento y grava o ripio, tal como se indica en la Figura 53 y que sirve para realizar la conexión de los sistemas de puesta a tierra y controlar la humedad del piso respectivamente.



Fig. 53. Barra de tierra.

Fuente: (Autor, 2021)

Respecto a la barra de cobre, mide 20cm de largo, 5cm de ancho y 6mm de espesor; además, tiene 5 perforaciones para realizar las conexiones de la nueva malla y los sistemas de tierra existentes.

Por otra parte, se colocó arena y ripio con el fin de controlar la humedad que pudiera existir en el pozo y esta de acuerdo a las especificaciones técnicas del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER.

### **3.5 Reconfiguración del sistema de puesta a tierra**

Se realizan las conexiones de los sistemas de puesta a tierra existentes al pozo de revisión, tendido de conductor de cobre desde la barra de tierra hasta el tablero de distribución e instalación de la caja térmica para la conexión de la tierra de las instalaciones internas.

#### **3.5.1 Conexión de los sistemas de puesta a tierra existentes**

De acuerdo a la información de los sistemas de puesta a tierra existentes indicados en el capítulo anterior respecto a su ubicación y funcionamiento, se procede a la conexión de las mismas a la barra de tierra instalada en el pozo de revisión, de tal forma de mejorar la seguridad de las instalaciones del Edificio de la Carrera de Electricidad.

Primero se procede a interconectar la malla existente correspondiente al proyecto tesis DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO, ILUMINACIÓN Y SEGURIDAD DE LOS LABORATORIOS con el nuevo sistema de puesta a tierra para tener una sola malla. Para realizar este trabajo se procede a la excavación de la zanja para tender el conductor tal como se indica en la Figura 54.



Fig. 54. Excavación de zanja para conectar la malla existente.  
Fuente: (Autor, 2021)

El conductor para utilizarse es de cobre No 2 por cuanto la malla existente tiene instalado este mismo calibre, donde para la conexión se utiliza soldadura exotérmica y el molde de grafito tipo cruz, de tal forma de obtener la conexión indicada en la Figura 55.





Fig. 55. Conexión de las dos mallas.  
Fuente: (Autor, 2021)

La conexión indicada en la figura anterior se complementa con la conexión de la malla existente a la barra de tierra que se tiene en el pozo de revisión, la misma que está interconectada a la nueva malla.

A continuación, se procede a interconectar el sistema de puesta a tierra perteneciente al proyecto de tesis **IMPLANTACIÓN DE UNA RED DE ENTRENAMIENTO DE DISTRIBUCIÓN SMART GRID** tal como se indica en la Figura 56.

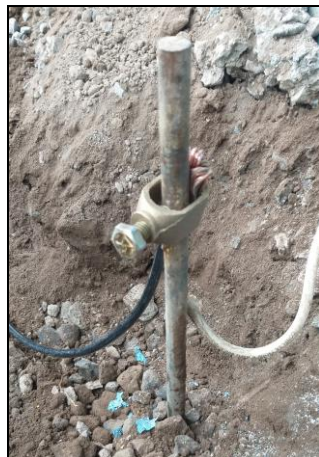


Fig. 56. Conexión de la tierra del sistema SMART GRID.  
Fuente: (Autor, 2021)

Para la conexión indicada en la figura anterior se utilizó conductor cableado No 8 de una longitud de 5m y se realizó el cambio del conector tipo atornillado debido al estado de oxidación. Se complementa la conexión de esta tierra con la interconexión realizada a la barra de tierra que se tiene en el pozo de revisión.

Por último, se procede a interconectar el sistema de puesta a tierra perteneciente a los proyectos de tesis **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA Y EÓLICA** que se encuentran interconectadas al mismo electrodo, quedando como se muestra en la Figura 57.



Fig. 57. Conexión de la tierra del SISTEMA FOTOVOLTAICO Y EÓLICO.  
Fuente: (Autor, 2021)

Para la conexión indicada en la figura anterior se utilizó conductor cableado No 8 de una longitud de 5m y se realizó el cambio del conector tipo atornillado debido al estado de oxidación. Se complementa la conexión de esta tierra con la interconexión realizada a la barra de tierra que se tiene en el pozo de revisión.

### **Conexión de los conductores de la nueva malla y de las tierras existentes a la barra de tierra en el pozo de revisión**

En el interior del pozo de revisión se realizan las conexiones de los terminales de los conductores de la nueva malla y de las puestas a tierra existentes a la barra de tierra, para lo cual se utiliza terminales tipo ojo de estaño que son machinados en la punta de los conductores para tener una buena conexión eléctrica, tal como se observa en la Figura 58.



Fig. 58. Machinado de los terminales tipo ojo a los conductores de tierra.  
Fuente: (Autor, 2021)

En la Figura anterior se muestra el machinado del conductor de cobre 1/0 correspondiente a la nueva malla, proceso que se repite para los demás terminales donde solo varía el tamaño del terminal tipo ojo por el calibre del conductor que son No 2 y 8 AWG. Realizado este trabajo me permite realizar la conexión a la barra con mayor facilidad tal como se indica en la Figura 59.



Fig. 59. Conexión de los terminales de los conductores a la barra de tierra  
Fuente: (Autor, 2021)

Para las conexiones que se puede apreciar en la figura anterior se utilizó pernos de tal forma que se tenga una buena sujeción y se tenga una óptima conductividad al conectar a la barra.

### **3.5.2 Conexión del sistema de puesta a tierra reconfigurada hasta el tablero de distribución**

Para terminar de realizar la reconfiguración del sistema de puesta a tierra existente y aumentar la protección existente del edificio se realiza la conexión de la puesta tierra reconfigurada hasta el tablero de distribución, como se indica en la Figura 60.





Fig. 60. Conexión del sistema de puesta a tierra reconfigurada al tablero de distribución.  
Fuente: (Autor, 2021)

Para la conexión se realizó el tendido del conductor de cobre No 1/0 AWG desde el pozo de revisión hasta una caja de conexión de puesta a tierra que se instaló junto al tablero principal que se encuentra dentro del edificio tal como se muestra en la Figura 61.



Fig. 61. Conexión de la puesta a tierra reconfigurada en la caja de conexión de tierras.  
Fuente: (Autor, 2021)

Se realizó la instalación de la caja de conexión de tierra debido a que no se tiene el espacio suficiente en el tablero general para realizar la conexión del sistema de puesta de tierra y tener un fácil acceso y seguro para la conexión de conductores de tierra que se instalen a futuro.

La dimensión de la caja de conexión es de 21cm de largo y ancho y 15 cm de profundidad, construido de un material resistente y aislante que cuenta con una barra de cobre con aisladores y tornillos electro-galvanizados para las conexiones; la misma que esta dimensionado para conexiones futuras de tierra al tablero. Cuenta con una tapa de protección, tal como se indica en la Figura 61, de tal forma de evitar la corrosión de los elementos internos y no exista el contacto directo por parte de las personas.



Fig. 62. Caja de conexión de tierra con su tapa de protección  
Fuente: (Autor, 2021)

Además, en la caja de conexión de tierras se puso la respectiva identificación de tal forma que su señalización me permita conectar de una manera más fácil los conductores de tierra existentes o nuevas.

### 3.5.3 Trabajo final de la reconfiguración del sistema de puesta a tierra

Una vez realizado todos los trabajos de la parte eléctrica se procede a cubrir nuevamente con ripio el área donde se implementó la nueva malla tal como se indica en la Figura 63.



Fig. 63. Instalación del ripio en el área de la nueva malla.  
Fuente: (Autor, 2021)

En la figura anterior se muestra el patio de pruebas tal como se encontró inicialmente. Cabe mencionar que toda el área del ripio fue fumigada de tal forma que no crezca ningún tipo de maleza.

Se realizó la señalización de los diferentes sistemas de puesta a tierra que se conectaron en la barra de tierra instalado en el pozo de revisión tal como se muestra en la Figura 64.

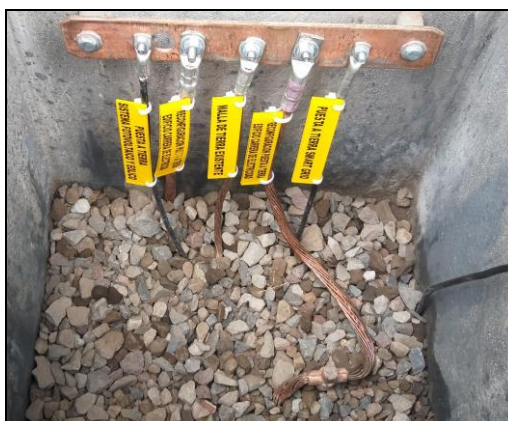


Fig. 64. Etiquetado de los sistemas de puesta a tierra  
Fuente: (Autor, 2021)

Las etiquetas amarillas que se colocaron son de un material resistente para estar a la intemperie donde está impreso el nombre de los proyectos a los que corresponden su sistema de puesta a tierra y están sujetas sobre el conductor con las respectivas amarras.

Por último, se procede a tapan el pozo de revisión tal como se indica en la Figura 65.



Fig. 65. Tapa del pozo de revisión  
Fuente: (Autor, 2021)

La tapa del pozo de revisión cuenta con una placa de identificación empotrada en la parte superior de la tapa que es elaborado en hierro fundido de tal forma que se pueda visualizar en sitio la existencia del sistema de puesta a tierra.

### **3.6 Análisis y medición de la resistencia de la malla nueva y del sistema de puesta a tierra reconfigurada.**

Una vez terminado de realizar los trabajos de la reconfiguración del sistema de puesta a tierra, se procede a realizar la medición de la resistencia de la nueva malla y del sistema de puesta a tierra reconfigurado que son las tierras existentes conectados a la barra de tierra

instalado en el pozo de revisión. Además, se realiza un análisis general de los resultados obtenidos.

### 3.6.1 Medición de la resistencia de puesta a tierra de la nueva malla

Se procedió a tomar mediciones que corresponde a la malla 4x4m la misma que no debe estar conectada a la barra de tierra de tal forma que cumple el requisito para la medición.

La medición se realiza de acuerdo a lo indicado en la parte de configuración del equipo de medición y aplicando el método del 62% tal como se indicó en capítulos anteriores. Se ubica el electrodo de corriente a 28m como resultado de 5 veces la mayor longitud de la malla, tal como se indica en la Figura 66.



Fig. 66. Ubicación para la medición de la resistencia de puesta a tierra de la malla.  
Fuente: (Autor, 2021)

Por otra parte, se ubicó el electrodo de potencial al 62% de la distancia “**d**” y se conecta el equipo de medición portátil a la nueva malla tal como se indica en la Figura 67.



Fig. 67. Conexión del equipo de medición con la tierra de la nueva malla.  
Fuente: (Autor, 2021)

Una vez realizado las mediciones se obtiene los valores de resistencia, tal como se indica en la Tabla E1 del anexo E.

De acuerdo a la Tabla E1 el valor de resistencia al 62% es de  $3,05\Omega$ . Para mayor precisión y de acuerdo a la norma se ubica el electrodo de potencial al  $\pm 10\%$  de la primera ubicación, obteniendo valores de resistencia de  $2,76\Omega$  (52%) y de  $3,48\Omega$  (72%).

Una vez tabulado los datos se procede a la realización de la gráfica del comportamiento de la curva de resistencia conforme se desplaza el electrodo de potencial tal como se indica en la Figura 68.

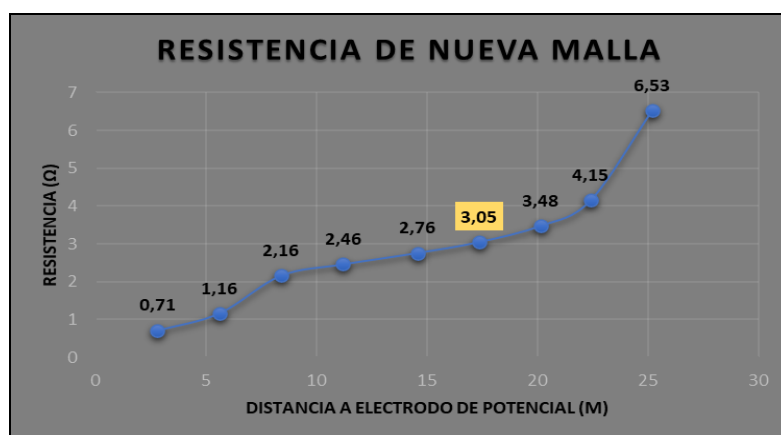


Fig. 68. Curva del comportamiento de la resistencia de la nueva malla.  
Fuente: (Autor, 2021)

Para obtener un valor promedio de la resistencia se calcula en base a los valores del 52%, 62% y 72%, obteniendo un valor de  $3,09\Omega$ .



### 3.6.2 Medición de la resistencia de puesta a tierra reconfigurada

Para complementar la medición anterior, se procede a medir la resistencia del sistema de puesta a tierra reconfigurada, que son las tierras existentes conectados a la barra de tierra instalado en el pozo de revisión; sin embargo, las tierras deben estar desconectado de los diferentes equipos para cumplir con el requisito para la medición.

Para la medición se realiza de acuerdo a la configuración y método indicado en la medición anterior, donde se conecta el equipo de medición al sistema de puesta a tierra reconfigurado, tal como se indica en la Figura 69.



Fig. 69. Conexión del equipo de medición con el sistema de puesta a tierra reconfigurado.  
Fuente: (Autor, 2021)

Una vez realizado las mediciones se obtiene los valores de resistencia, tal como se indica en la Tabla E2 del anexo E.

De acuerdo a la Tabla E2 el valor de resistencia al 62% es de  $2,97\Omega$ . Para mayor precisión y de acuerdo a la norma se ubica el electrodo de potencial al  $\pm 10\%$  de la primera ubicación, obteniendo valores de resistencia de  $2,68\Omega$  (52%) y de  $3.43\Omega$  (72%).

Una vez tabulado los datos se procede a la realización de la gráfica del comportamiento de la curva de resistencia conforme se desplaza el electrodo de potencial tal como se indica en la Figura 70.

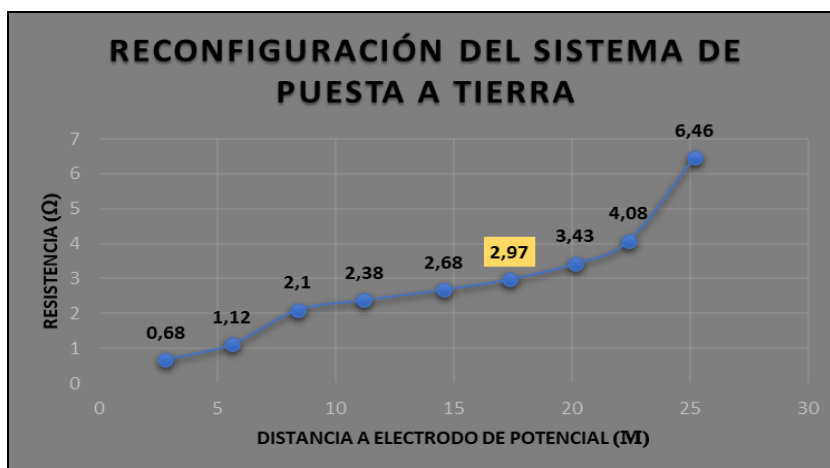


Fig. 70. Curva del comportamiento de la resistencia del sistema de puesta a tierra reconfigurado.  
Fuente: (Autor, 2021)

Para obtener un valor promedio de la resistencia se calcula en base a los valores del 52%, 62% y 72%, obteniendo un valor de  $3,02\Omega$ .

### 3.6.3 Resultado y análisis de la nueva malla, sistema de puesta a tierra reconfigurada.

En el diseño realizado para la implementación de la nueva malla se obtuvo un valor de resistencia de puesta a tierra de  $3,92\Omega$ ; por lo tanto, una vez que se construyó la malla en base al estudio realizado se esperaba obtener un valor similar al calculado, sin embargo, se consiguió que valor se disminuya a  $3,09\Omega$  y esto fue debido a que en la etapa de construcción se instaló el componente químico para mejorar aún más la resistividad del terreno existente en el sitio donde se enterraron las varillas de copperweld y donde se realizó el tendido del conductor de cobre.

Como el propósito del proyecto era la reconfiguración del sistema de puesta a tierra existente se realizó la conexión de los sistemas de puestas a tierra existentes en la barra de tierra instalada en el pozo de revisión; es así que se conectó la malla existente que no estaba funcionando y lo electrodos individuales correspondiente a la protección de los equipos existentes (SMART GRID, SISTEMA FOTOVOLTAICO Y EÓLICO); obteniendo un valor de resistencia de  $3,02\Omega$ , es decir que las tierras existentes no influyeron en el valor de la nueva malla por cuanto ya no están funcionando correctamente; en todo caso, al unirse a la nueva malla se aumentó la protección de los equipos a los que están conectados estas tierras.

El objetivo de obtener una resistencia de puesta a tierra menor a  $5\Omega$  fue cumplido; esto quiere decir que el análisis realizado de las tierras existentes y la metodología aplicada fueron los correctos. Además, en la construcción de la nueva malla se instaló materiales

que cumplen especificaciones técnicas, donde para su instalación se realizó con herramientas y equipos adecuados para este tipo de trabajo; entonces esto también contribuyó a cumplir con el objetivo planteado de mejorar la protección de los equipos del edificio y brindar más seguridad de las personas que están en contacto con las instalaciones.

### 3.7 Diagrama de conexión de la reconfiguración del sistema de puesta a tierra existente.

En el esquema de la Figura 71 se presenta el circuito de la reconfiguración del sistema de puesta a tierra.

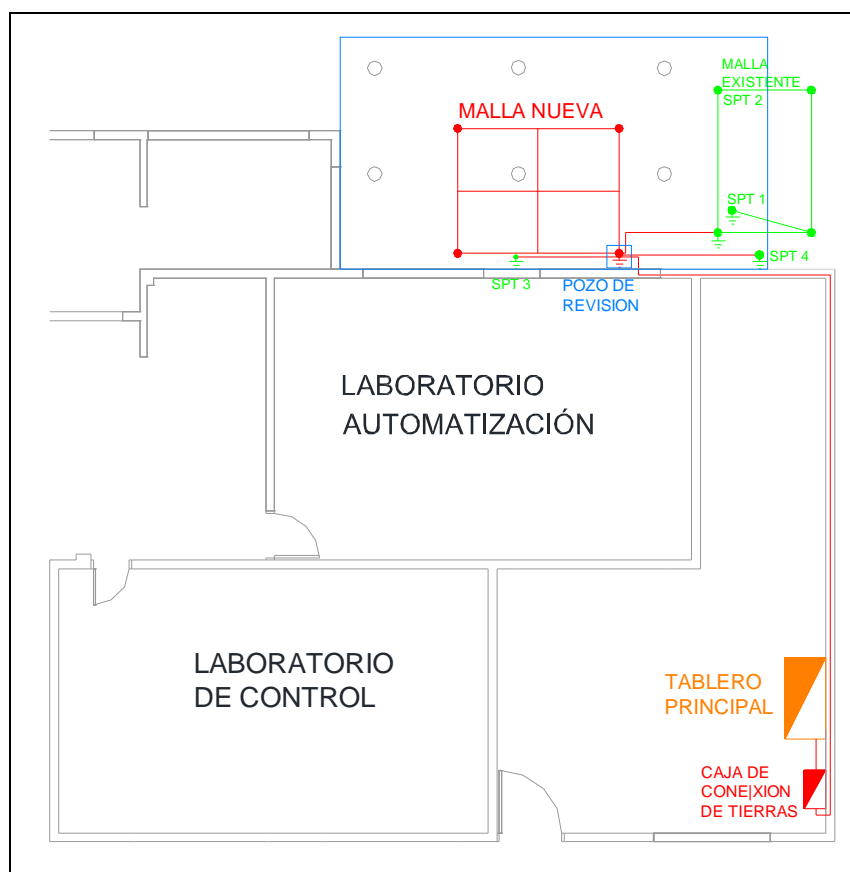


Fig. 71. Diagrama de conexión del sistema de puesta a tierra reconfigurado.  
Fuente: (Autor, 2021)

En el esquema se aprecia la conexión de las puestas a tierra existentes a la nueva malla y la conexión del sistema al tablero principal a través de la caja de conexión de tierras.



### 3.8 Presupuesto para la reconfiguración del sistema de puesta tierra existente.

Para complementar el trabajo realizado, se realizó un breve resumen del costo de los materiales instalados y la mano de obra ejecutada en la reconfiguración del sistema de puesta a tierra del edificio de la Carrera de Electricidad, como se muestra en la Tabla 10; donde los precios utilizados para la determinación del presupuesto son referenciales del mercado.

Tabla 10. Presupuesto referencial del costo de la malla.

<b>PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA MALLA DE TIERRA</b>				
<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>P. TOTAL</b>
50	Conductor de cobre AWG Nro 1/0	m	6	300
4	Varillas copperweld (5/8"x1,80m)	u	11	44
10	Soldaduras exotérmicas	u	8	80
7	Fundas de gel mejorador de suelo de 25Lb	u	24	168
2	Conectores tipo atornillado	u	2	4
2	Moldes de grafito para suelda exotérmica	u	120	240
1	Caja de conexión a tierra y accesorios	u	20	20
5	Terminales tipo ojo	u	1	5
1	Barra de aterramiento de cobre	u	10	10
1	Pozo de revisión tipo A.	u	120	120
1	Mano de obra		140	140
<b>VALOR TOTAL (USD)</b>				<b>1131</b>

Fuente: (Autor, 2021)

El valor total es de MIL CIENTO TREINTA Y UN DÓLARES (USD. 1131).

## CONCLUSIONES

Mediante el análisis de los fundamentos teóricos de los parámetros que involucra un sistema de puesta a tierra, se determina que los factores relevantes que se debe considerar para un buen funcionamiento del sistema son las condiciones del terreno, el diseño implementado y la forma de construcción; aspectos que se analizan mediante los respectivos estudios técnicos y metodologías que se basan en función de normas nacionales e internacionales.

La información obtenida en el diagnóstico de los sistemas de puesta a tierra existentes en el edificio de la Carrera de Electricidad mediante la verificación visual y mediciones respectivas determinó las condiciones actuales de los sistemas en lo que corresponde al estado físico de los componentes, problemas de conexión, falta de mantenimiento, y ubicación no adecuada; es decir, que los sistemas de puesta a tierra no han sido construidos de acuerdo un diseño técnico. Por otra parte, con las mediciones de resistencia de puesta a tierra realizadas con el método correspondiente se verifica que dichos valores no cumplen con los indicados en las normas para la protección de los equipos existentes en el edificio; por lo tanto, fue necesario realizar la reconfiguración del sistema de puesta a tierra existente.

La realización de la reconfiguración del sistema de puesta a tierra existente, con la construcción de una nueva malla y conexión de las tierras existentes se obtiene un sistema con una resistencia menor a  $5\Omega$ , de tal forma de brindar seguridad para las personas y equipos. Para lograr esto se realizó un diseño de la nueva malla de acuerdo a la norma IEEE Std 80-2013, donde a más de cumplir con el valor de la resistencia, se cumple con los voltajes de paso y de toque tolerables para la persona. Además, la construcción se realiza cumpliendo la metodología establecida; de tal forma, que se pueda realizar la reconfiguración del sistema existente y se pueda tener el valor de resistencia similar al del diseño. Por otra parte, para mejorar aún más las condiciones del terreno se agregó tratamiento químico.

## RECOMENDACIONES

En las instalaciones del Edificio de la Carrera de Electricidad existe el tablero principal de donde se distribuye diferentes circuitos para energizar la carga instalada, el cual debe ser readecuado, de tal forma que se tenga en el tablero una barra de tierra adecuada para conectar los circuitos de tierra de las instalaciones internas y complementar a la caja de conexión de tierras que se instaló junto al tablero como parte de la reconfiguración del sistema de puesta a tierra que se realizó en el edificio y por ende aumentar la protección para los equipos y seguridad para las personas.

Como parte del mantenimiento a realizarse al nuevo sistema de puesta a tierra, es necesario realizar un seguimiento del buen funcionamiento o no del sistema para lo cual debe realizarse periódicamente mediciones de la resistencia de la malla de acuerdo al procedimiento indicado en el manual que reposa en el laboratorio de la carrera, de tal forma que se siga cumpliendo con el valor mínimo de resistencia de puesta a tierra. Por otra parte, en el pozo de revisión se puede verificar el estado de las conexiones de los sistemas de puesta a tierra, de tal forma que se puede verificar el estado de los materiales instalados y se pueda determinar la necesidad de realizar las correcciones del caso.

Como parte de la reconfiguración del sistema de puesta a tierra fue la instalación de una barra de tierra en el pozo de revisión donde a más de servir de conexión de las tierras existentes y de la nueva malla, se puede utilizar para temas didácticos en lo que corresponde a verificar las formas de conexión y para realizar mediciones de resistencia de puesta a tierra; para lo cual se debe desconectar solamente la malla existente que claramente está identificado y se pueda realizar las mediciones del caso siguiendo el procedimiento indicado en el manual que reposa en el laboratorio de la carrera.

## BIBLIOGRAFIA

Peñañiel, H., & Vallejo, D. (2020). *Modelación y simulación de mallas de puestas a tierra utilizando el método de elementos finitos en tres dimensiones y un modelo físico real a escala*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

IEEE (2013). Guide for safety in AC Substation Grounding. *IEEE Std 80-2013*

IEEE (2012). Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System. *IEEE Std 81-2012*

IEEE (2007). Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power, *IEEE Std 142-2007*

IEC-604791. (2014). Efectos de la corriente sobre el hombre y los animales domésticos.: *NTE INEN-ISO 60479-1*

NEC (2013). Norma Ecuatoriana de Construcción. Ecuador.

NFPA (2017). National Electrical Code. *National Fire Protection Association*.

Schneider (2010). *Guía de diseño de Instalaciones eléctricas 2010*. Schneider Electric España

Ward, H. (2017). *Grounding and bonding for the radio amateur*. EE. UU

Villa, M. (2010). *Criterios de seguridad en la aplicación de Puesta a tierra en instalaciones eléctricas de edificios*. Guayaquil: Espol.

IAEI. (2017). *Soares Grounding and Bonding. Texas: International Association of Electrical Inspectors IAEI*.

Ramirez, J., & Cano, E. (2010). *Sistema de puesta a tierra: diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia

Mora, J., & Pilatasig, W. (2019). *Dimensionamiento de la malla de puesta a tierra para los laboratorios de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi*. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.

Nuñez, E. (2015). *Valoración del campus académico de la Universidad Técnica del Norte ubicado en la Av. 17 de Julio – Ibarra-*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.

Hernández, M. (2019). *Aplicación de métodos geoelectrónicos para la detección de zonas de filtración en la presa Gonzalo N. Santos*. San Luis Potosí: Instituto Potosiano de Investigación Científica y Tecnológica, A.C

Pardo, W (s.f.). *Diseño de puesta a tierra y apantallamientos eléctrico para protección de equipos y personas de la Universidad de las Fuerzas Armadas*. Cotopaxi: Universidad de las Fuerzas Armadas –Espe Extension Latacunga.

Vázquez, E. (2016). *Diseño del sistema de puesta a tierra de una subestación eléctrica mediante dos metodologías*. México: Instituto Politécnico Nacional.

FLUKE. (2017). Resistencia de puesta a tierra. *FLUKE*, 16.

Quisphe, S. (2016). *Diseño de una malla de puesta a tierra para una subestación de distribución en condiciones de suelo extremas*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Ruiz, J. (2017). *Estudio del sistema de puestas a tierra de la Universidad Técnica del Norte e implementación de un telurómetro de cuatro electrodos*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.

Megger. (2016). *Getting Down To Earth*. Megger, 63.

Chauvin Arnoux (2015). *Guía de la medición de tierra*, 32.

Quishpe, M., & Gutierrez, Y. (2018). *Diseño e implementación de diferentes sistemas de puesta a tierra para los laboratorios de Ingeniería Mecánica Eléctrica Una-Puno*. Perú: Universidad Nacional Del Altiplano.

EPM. (2017). *Especificación técnica para conectores de puesta a tierra*. Colombia: GRUPO EPM. <https://docplayer.es/58366821-Especificacion-tecnica-para-conectores-de-puesta-a-tierra.html>

Mogollón, M. (2006). *Diseño del sistema de puesta a tierra y pararrayos para el edificio "bloque de aulas a y b" de la Escuela Politécnica del Ejército*. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército.

TODOFERRETERÍA. (2020). Recuperado el 1 de Agosto de 2020, de TODOFERRETERÍA: <http://todoferreteria.com.mx/el-cobre-como-conductor/>

PROMESA. (2020). Recuperado el 1 de Agosto de 2020, de PROMESA: <http://todoferreteria.com.mx/el-cobre-como-conductor/>

APSPANAMA. (2020). Recuperado el 1 de Agosto de 2020, de APSPANAMA: <https://apspanama.wordpress.com/telecomunicaciones/soldaduras-exotermicas/>

SISA. (2020). Recuperado el 15 de Agosto de 2020, de SISA: <https://www.sisapanama.net/tienda/sub-estacion/aterramiento/conectores-de-cobre/>

Viditec. (2015). Recuperado el 16 de Agosto de 2020, de EDITORES: [https://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/298/viditec\\_medida\\_de\\_la\\_resistencia\\_de\\_la\\_toma\\_de\\_tierra](https://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/298/viditec_medida_de_la_resistencia_de_la_toma_de_tierra)

## ANEXOS

### ANEXO A. Coeficientes para el método de Tagg.

$\mu$	k	$\mu$	k	$\mu$	k	$\mu$	k	$\mu$	k
0,01	0,693	0,39	0,645	0,77	0,586	1,15	0,507	1,53	0,374
0,02	0,692	0,4	0,643	0,78	0,584	1,16	0,505	1,54	0,369
0,03	0,691	0,41	0,642	0,79	0,582	1,17	0,502	1,55	0,364
0,04	0,69	0,42	0,64	0,8	0,58	1,18	0,499	1,56	0,358
0,05	0,689	0,43	0,639	0,81	0,579	1,19	0,497	1,57	0,352
0,06	0,687	0,44	0,638	0,82	0,577	1,2	0,494	1,58	0,347
0,07	0,686	0,45	0,636	0,83	0,575	1,21	0,491	1,59	0,34
0,08	0,685	0,46	0,635	0,84	0,573	1,22	0,489	1,6	0,334
0,09	0,684	0,47	0,633	0,85	0,571	1,23	0,486	1,61	0,328
0,1	0,683	0,48	0,632	0,86	0,569	1,24	0,483	1,62	0,321
0,11	0,681	0,49	0,63	0,87	0,568	1,25	0,48	1,63	0,314
0,12	0,68	0,5	0,629	0,88	0,566	1,26	0,477	1,64	0,307
0,13	0,679	0,51	0,627	0,89	0,564	1,27	0,474	1,65	0,3
0,14	0,678	0,52	0,626	0,9	0,562	1,28	0,471	1,66	1
0,15	0,676	0,53	0,624	0,91	0,56	1,29	0,468	1,67	0,284
0,16	0,675	0,54	0,623	0,92	0,558	1,3	0,465	1,68	0,276
0,17	0,674	0,55	0,621	0,93	0,556	1,31	0,462	1,69	0,267
0,18	0,673	0,56	0,62	0,94	0,554	1,32	0,459	1,7	0,258
0,19	0,671	0,57	0,618	0,95	0,552	1,33	0,456	1,71	0,248
0,2	0,67	0,58	0,617	0,96	0,55	1,34	0,452	1,72	0,238
0,21	0,669	0,59	0,615	0,97	0,548	1,35	0,449	1,73	0,228
0,22	0,668	0,6	0,614	0,98	0,546	1,36	0,445	1,74	0,217
0,23	0,666	0,61	0,612	0,99	0,544	1,37	0,442	1,75	0,205
0,24	0,665	0,62	0,61	1	0,542	1,38	0,438	1,76	0,193
0,25	0,664	0,63	0,609	1,01	0,54	1,39	0,435	1,77	0,18
0,26	0,662	0,64	0,607	1,02	0,537	1,4	0,431	1,78	0,166
0,27	0,661	0,65	0,606	1,03	0,535	1,41	0,427	1,79	0,151
0,28	0,66	0,66	0,604	1,04	0,533	1,42	0,423	1,8	0,135
0,29	0,658	0,67	0,602	1,05	0,531	1,43	0,419	1,81	0,118
0,3	0,657	0,68	0,601	1,06	0,529	1,44	0,415	1,82	0,1
0,31	0,656	0,69	0,599	1,07	0,526	1,45	0,411	1,83	0,08
0,32	0,654	0,7	0,598	1,08	0,524	1,46	0,407	1,84	0,059
0,33	0,653	0,71	0,596	1,09	0,522	1,47	0,403	1,85	0,035
0,34	0,652	0,72	0,594	1,1	0,519	1,48	0,398		
0,35	0,65	0,73	0,592	1,11	0,517	1,49	0,394		
0,36	0,649	0,74	0,591	1,12	0,514	1,5	0,389		
0,37	0,647	0,75	0,589	1,13	0,512	1,51	0,384		

Fuente: IEEE 81, 2012

### ANEXO B. Datos de las mediciones de la resistencia de puesta a tierra.

Tabla B.1. Mediciones de la resistencia de puesta a tierra de la malla conectada a la Bobina de Tesla.

Distancia al electrodo de corriente (m)	Porcentaje de distancia de electrodo de potencial	Distancia a electrodo de potencial (m)	Valor medido de R( $\Omega$ )
24	10%	2,40	5,95
	20%	4,80	6,53
	30%	7,02	6,81
	40%	9,60	6,99
	52%	12,00	7,20
	62%	14,88	7,59
	72%	17,28	7,85
	80%	19,20	8,62
	90%	21,60	11,7

Fuente: (Autor, 2021)

Tabla B.2. Mediciones de la resistencia de puesta a tierra del sistema Smart Grid.

Distancia al electrodo de corriente (m)	Porcentaje de distancia de electrodo de potencial	Distancia a electrodo de potencial (m)	Valor medido de R( $\Omega$ )
14	10%	1,40	77,00
	20%	2,80	78,4
	30%	4,20	79,3
	40%	5,60	79,6
	52%	7,28	80,0
	62%	8,68	80,5
	72%	10,08	81,5
	80%	11,20	82,7
	90%	12,60	86,5

Fuente: (Autor, 2021)

Tabla B.3. Mediciones de la resistencia de puesta a tierra del sistema de generación fotovoltaica y solar.

Distancia al electrodo de corriente (m)	Porcentaje de distancia de electrodo de potencial	Distancia a electrodo de potencial (m)	Valor medido de R( $\Omega$ )
14	10%	1,40	30,3
	20%	2,80	31,4
	30%	4,20	31,8
	40%	5,60	32,2
	52%	7,28	32,8
	62%	8,68	33,5
	72%	10,08	34,3
	80%	11,20	35,9
	90%	12,60	40,6

Fuente: (Autor, 2021)

## ANEXO C. Datos de resistencia y resistividad

Tabla C. Mediciones de la resistencia y resistividad

a	Primera Prueba		Segunda Prueba		Tercera Prueba		Cuarta Prueba		Resistividad Promedio ( $\Omega.m$ )
	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad 1 ( $\Omega.m$ )	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad 2 ( $\Omega.m$ )	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad 3 ( $\Omega.m$ )	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad 4 ( $\Omega.m$ )	
1	5,48	34,43	6,37	40,02	5,76	36,19	7,19	45,18	38,96
1,5	3,94	37,13	4,00	37,70	3,91	36,85	4,55	42,88	38,64
2	3,18	39,96	3,16	39,71	2,81	35,31	3,69	46,37	40,34
2,5	2,41	37,86	2,68	42,10	2,47	38,80			39,58
3	1,76	33,14	1,32	24,81	1,46	27,52			28,49

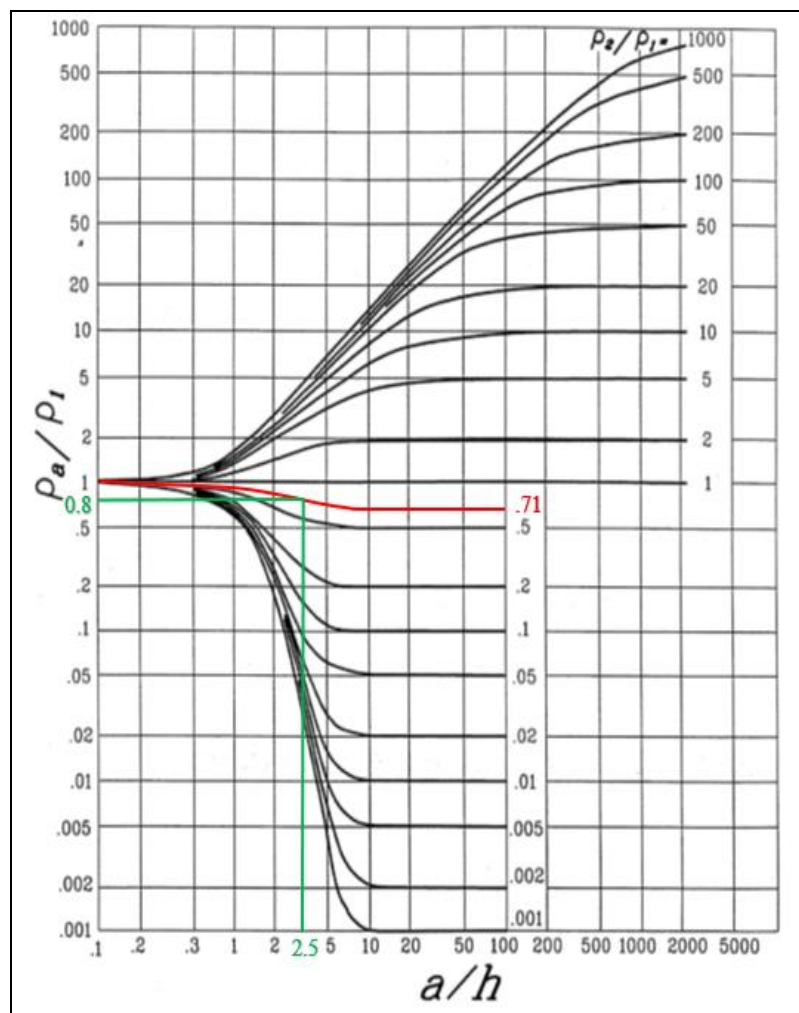
Fuente: (Autor, 2021)

## ANEXO D. Método de Sunde

- a) Se grafica los datos del promedio de la resistividad vs la separación de los electrodos de prueba, tal como se muestra en la Figura 36.
- b) Se determina las resistividades de las capas finita e infinita, de acuerdo a las mediciones de campo, obteniendo los siguientes valores:

$$\rho_1 = 40,34\Omega.m \text{ y } \rho_2 = 28,49\Omega.m$$

- c) Se calcula la relación entre  $\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{28,49}{40,34} = 0,71$ ; y se grafica este valor por extrapolación en la curva de Sunde, como se muestra en la Figura D.1.



**Fig. D.1.** Curva de Sunde .  
Fuente: (Autor, 2021)

- d) De la región pendiente de la curva extrapolada se obtiene el valor de  $\frac{\rho_a}{\rho_1} = 0,8$
- e) Se traza una línea recta en la Figura 37 en el eje  $a/H = 2,5$
- f) Se calcula el valor de  $\rho_a = (\rho_a / \rho_1) * \rho_1 = 0.8 * 40,34 = 32.27\Omega.m$



- g) En la gráfica de  $\rho_a$  vs la separación de los electrodos, se muestra en la Figura 38, se indica el valor de literal f) y se lee el valor de "a" es 2,8.

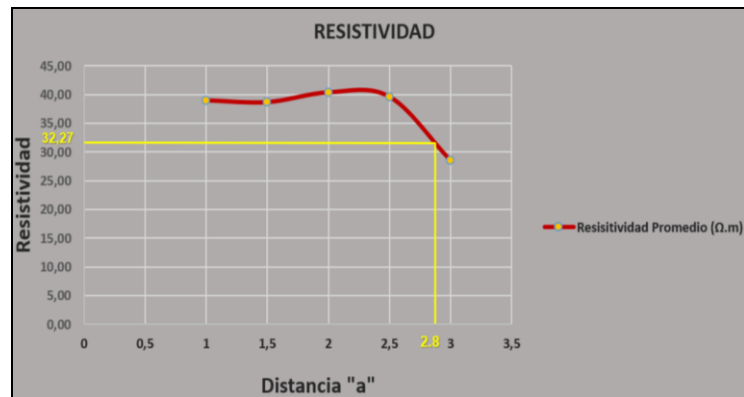


Fig. 38. Curva de Resistividad promedio.  
Fuente: (Autor, 2021)

- h) Se calcula la profundidad de la capa superior  $h = \frac{a}{a/H} = \frac{2.8}{2.5} = 1.12m$

## ANEXO E. Datos de resistencia de la nueva malla y la reconfiguración del sistema de puesta tierra

Tabla E.1. Mediciones de las resistencias de puesta a tierra de la nueva malla

Distancia al electrodo de corriente (m)	Porcentaje de distancia de electrodo de potencial	Distancia a electrodo de potencial (m)	Valor medido de R( $\Omega$ )
28	10%	2,80	0,71
	20%	5,60	1,16
	30%	8,40	2,16
	40%	11,20	2,46
	52%	14,56	2,76
	62%	17,36	3,05
	72%	20,16	3,48
	80%	22,40	4,15
	90%	25,20	6,53

Fuente: (Autor, 2021)

Tabla E.2. Mediciones de las resistencias de la reconfiguración del sistema de puesta a tierra.

Distancia al electrodo de corriente (m)	Porcentaje de distancia de electrodo de potencial	Distancia a electrodo de potencial (m)	Valor medido de R( $\Omega$ )
28	10%	2,80	0,68
	20%	5,60	1,12
	30%	8,40	2,10
	40%	11,20	2,38
	52%	14,56	2,68
	62%	17,36	2,97
	72%	20,16	3,43
	80%	22,40	4,08
	90%	25,20	6,46

Fuente: (Autor, 2021)

## ANEXO F. Certificado de calibración del telurómetro



**CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO ECUATORIANO**  
*"Contribuyendo a la cultura de calidad del país"*

# CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

## TELURÓMETRO

**Modelo: 1623**

**Serie: S101302048B2**

Este documento certifica que el **TELURÓMETRO**, marca: **FLUKE**, modelo: **1623** serie: No. **S101302048B2**, fue calibrado usando estándares de referencia del Centro de Metrología del Ejército., durante un período de **01 día**.

La calibración se realizó a una temperatura ambiente media de  $22 \pm 3$  °C y humedad relativa en el rango de 35 % a 65 %, para determinar la incertidumbre se considera un nivel de confianza del 95% y un factor de cobertura  $k=2$  de acuerdo a la G.U.M., se relaciona únicamente a los valores medidos y no incluye estabilidad del instrumento bajo prueba para largo tiempo.

Las mediciones realizadas por nuestros laboratorios se basan en patrones de referencia que mantienen trazabilidad a patrones internacionales, los certificados de calibración se encuentran en los archivos del CMEE y pueden ser revisados por cualquier personal autorizado, se utilizan procedimientos reproducidos y/o desarrollados por este Centro, de acuerdo a requerimientos de la norma **NTE INEN ISO/IEC 17025**.

La estabilidad y funcionamiento del **TELURÓMETRO** depende de varios factores, los cuales están fuera del control de nuestros laboratorios de calibración. No obstante, si al equipo se le da un mantenimiento y uso adecuado, los valores descritos en el reporte de calibración puede mantenerse dentro de los rangos en el periodo que se establezca como válida la calibración.

Este certificado solo se aplicará para el ítem identificado, únicamente se podrá reproducir en forma completa y con la aprobación escrita específica del Centro de Metrología del Ejército. No será usado para reclamo de endosos de productos por el INEN ó cualquier otra entidad Estatal.

**Estándar (es) utilizado (s):**

Equipo	Marca	Modelo	Serie	Fecha de Cal.	Fecha prox. Cal.
Década	HARS	HARS-X-6-0.001	C3-10454441	2020-07-15	2021-07-15
Década	HRRS	HRRS-Q-9-1k-5KV	B2-1045208	2020-07-20	2021-07-20

\* De requerir el cliente, se entregará el diagrama de trazabilidad del laboratorio.

**ING. LUIS I. RODRIGUEZ V.**  
TCRN. DE E.M.  
**DIRECTOR DEL CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO**



Número de reporte: **BF21018MRT**  
Fecha de calibración: **2021-01-25**

CAZ1.F1-1  
Reporte: BF21018MRT Pág. 1 de 5

FUERTE MILITAR "RUMIÑAHUI" Av. de los Pinos E7- 105  
Intersección Manuel Cabeza de Vaca URB. Kennedy  
• Telfs.: (593 2) 3285-202 Fax (593 2) 2414-432  
• E-mail: dpa\_cmee@cmee.mil.ec • www.cmee.mil.ec  
• Quito - Ecuador

## ANEXO G. Solicitud EMELNORTE corriente de cortocircuito



Oficio Nro. EMELNORTE-PE-2021-0427-OF

Ibarra, 20 de mayo de 2021

**Asunto:** Respuesta a solicitud de corrientes de cortocircuito en los postes 103694 y 103695.

Señorita  
Magaly Milena Guel Quendi  
En su Despacho

De mi consideración:

En respuesta al Documento No. EMELNORTE-SG-2021-2274-E, se informa que una vez realizados los flujos de carga en el software de simulación CYMDST se obtuvieron los siguientes resultados en el nodo eléctrico correspondiente a los postes 103694 y 103695.

Corrientes de cortocircuito en el lado primario del transformador:

Parámetro	LLL	LG	LL	LLG	LLL Idc
Corrientes de cortocircuito(kA)	2,31	1,92	2	2,17	0,5697
Corrientes de cortocircuito pico (kA)	5,7	4,74	4,94	5,35	0,5697

Corrientes de cortocircuito en el lado secundario del transformador:

Parámetro	LLL	LG	LL	LLG	LLL Idc
Corrientes de cortocircuito(kA)	3,99	4,03	3,45	4,02	1,66
Corrientes de cortocircuito pico (kA)	9,86	12,9,96	8,54	9,92	1,66

Impedancias de secuencia positiva, negativa y cero en el punto solicitado:

Parámetro	R0	X0	R1	X1	R2	X2
Impedancia (ohmios)	0,047	0,047	0,012	0,005	0,012	0,005

Se adjunta el reporte de corrientes de cortocircuito generado por el software y las capturas de pantalla correspondientes.

Oficio Nro. EMELNORTE-PE-2021-0427-OF

Ibarra, 20 de mayo de 2021

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,

*Documento firmado electrónicamente*

Lcdo. Germán Antonio Rosales Naranjo  
**PRESIDENTE EJECUTIVO**

Referencias:

- EMELNORTE-SG-2021-2274-E

Anexos:

- 22740771444001621355089.pdf  
- equivalentes\_thevenin\_y\_jcc\_trafo\_utn.rar

Copia:

Señor Magíster  
Segundo Hernan Perez Cruz  
**Director de Planificación (E)**

Señor Ingeniero  
Jairo Mauricio Boada Benavides  
**Jefe del Departamento de Calidad de la Energía y Estudios Eléctricos, Subrogante**

Señor Ingeniero  
Washington Orlando Farinango Quilca  
**Ingeniero Eléctrico**

Señora Licenciada  
Tania Carolina Ramírez Cordero  
**Secretaría Dirección Planificación**

jb/sp



Firmado electrónicamente por:  
**GERMAN ANTONIO  
ROSALES NARANJO**