



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN EL
BLOQUE E DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: Jhulio Zaih Alvarez Ordoñez

Jose Alberto Muñoz Robles

TUTOR: Ing. Julio Manuel Silva Becheran, MSc

Guayaquil – Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jhulio Zaih Alvarez Ordoñez con documento de identificación N° 0106294218 y Jose Alberto Muñoz Robles con documento de identificación N° 0704993583 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo y autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.


Guayaquil, 20 de febrero del año 2024

Atentamente;



Jhulio Zaih Alvarez Ordoñez

0106294218



Jose Alberto Muñoz Robles

0704993583

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.**

Nosotros, Jhulio Zaih Alvarez Ordoñez con número de identificación N° 0106294218 y Jose Alberto Muñoz Robles con número de identificación N° 0704993583, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de lo que somos autores del: **“EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN EL BLOQUE E DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL”**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de INGENIERO EN ELECTRICIDAD, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en el formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 20 de febrero del año 2024

Atentamente;



Jhulio Zaih Alvarez Ordoñez

0106294218



Jose Alberto Muñoz Robles

0704993583

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Julio Manuel Silva Becheran con documento de identificación N° 0959623422 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN EL BLOQUE E DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL”, realizado por Jhulio Zaih Alvarez Ordoñez con número de identificación N° 0106294218 y Jose Alberto Muñoz Robles con número de identificación N° 0704993583, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Tesis que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 20 de febrero del año 2024

Atentamente;



Ing. Julio Manuel Silva Becheran, Msc

0959623422

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis queridos padres, Julio Alvarez Toalongo y Veronica Ordoñez Icaza, su sacrificio, amor y apoyo han sido mi fuerza y mi consuelo a lo largo de esta travesía académica. A ustedes dedico esta tesis, como una pequeña muestra de mi profundo agradecimiento por todo lo que han hecho por mí. Su amor y dedicación son los pilares sobre los que construyó mis sueños y aspiraciones.

Jhulio Zaih Alvarez Ordoñez

Todo esfuerzo tiene su recompensa, sea que des uno, cinco, diez pasos tienen un propósito y un fin, hoy al culmen de esta carrera universitaria llena de muchas anécdotas, vivencias y aprendizajes que han forjado nuestras vidas queremos dedicar el presente trabajo a:

A mis padres que día a día nos han animado a seguir con los estudios, quienes con su paciencia, cariño y dedicación nos permitieron lograr una de las metas más grandes, gracias por enseñarme a perseverar, y a no tenerle miedo a las dificultades y adversidades de la vida. Quiero agradecer a mi familia por su orientación, apoyo y motivación, que han contribuido a mi crecimiento personal y me han acompañado en la consecución de mis metas y aspiraciones, de diversas maneras.

También queremos dedicarles este trabajo a nuestros maestros, que día a día y con su esfuerzo nos supieron encaminar hacia la culminación de nuestra carrera universitaria, y sobre todo impartirnos su conocimiento para lograr todos nuestros propósitos.

Jose Alberto Muñoz Robles

AGRADECIMIENTO

Expreso mi gratitud a la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto de investigación. Agradezco al Ing. Julio Manuel Silva Becheran, quien con su experiencia, conocimiento y dedicación supo guiarnos en la finalización de este trabajo.

Este logro no habría sido posible sin el apoyo incondicional de mi familia agradezco su amor, esfuerzo y el apoyo que me brindaron a lo largo de esta etapa académica.

Jhulio Zaih Alvarez Ordoñez

Un peldaño más hemos alcanzado, hoy queremos brindar mi profundo agradecimiento a Dios por brindarnos la salud y la posibilidad de culminar nuestros estudios, a nuestros padres por el apoyo brindado, por su amor y entrega para hacernos cumplir nuestro sueño de ser profesionales.

A todo el personal y las autoridades que hacen la Universidad Pontificia Salesiana, por siempre brindar las facilidades para poder culminar con nuestros estudios, nuestras investigaciones, prácticas y demás facilidades que nos brindaron.

Un especial agradecimiento a nuestro tutor Ing. Julio Manuel Silva Becheran quien con la dedicación y empeño supo guiarnos para la terminación de nuestra tesis, las correcciones y enseñanzas impartidas no fueron en vano y este es nuestro resultado.

Jose Alberto Muñoz Robles

INDICE

PORTADA.....	I
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN... II	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....III	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN.....IV	IV
DEDICATORIA..... V	V
AGRADECIMIENTO.....VI	VI
INDICE.....VII	VII
INDICE DE FIGURAS.....XI	XI
INDICE DE TABLAS.....XIV	XIV
RESUMEN.....XV	XV
ABSTRACT.....XVI	XVI
ACRONIMOS.....XVII	XVII
CAPITULO I.....1	1
1.1. TITULO.....1	1
1.2. INTRODUCCIÓN.....1	1
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....2	2
1.4. JUSTIFICACIÓN.....3	3
1.5. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....4	4
1.6. BENEFICIARIOS DE LA PROPUESTA.....5	5
1.7. OBJETIVOS.....6	6
1.7.1.Objetivo General.....6	6
1.7.2.Objetivos Específicos.....6	6
1.7.3.Metodología y Medios.....6	6
CAPITULO II.....9	9
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....9	9

2.1. Revisión de Literatura o Fundamentos Teóricos	9
2.2. Sistema de Puesta a Tierra	10
2.3. Tipos de Tierra	11
2.3.1.Puesta a Tierra de Protección Atmosférica	11
2.3.2.Puesta a Tierra para Sistemas Electricos.....	12
2.3.3.Puesta a Tierra con Electrodo de Varilla	13
2.3.4.Puesta a Tierra Química.....	13
2.3.5.Puesta a Tierra con Anillo de Tierra	14
2.4. Optimización de la Conexión a Tierra para un Rendimiento Seguro y Eficiente	15
2.5. Consideraciones Básicas de Resistividad Térmica	16
2.6. Definición Eléctrica de Resistividad	17
2.7. Resistividad y Resistencia	18
2.8. Resistividad del Terreno	19
2.9. Compactación del Terreno	20
2.10. Conductividad Eléctrica en Terrenos Salinos.....	21
2.11. Tamaños Mínimos sugeridos para los Electrodo de Conexión a Tierra.....	22
2.12. Secciones mínimas convencionales de los conductores	23
2.12.1.Tipo A.....	24
2.12.2.Tipo B.....	24
2.13. Elementos que influyen la Resistividad en el Terreno	25
2.14. Protección del Sistema de Puesta a Tierra	26
2.15. Modelo de Sistemas de Puesta a Tierra	28
2.15.1.Puesta a Tierra en Señales Electrónica	28
2.15.2.Conexión a Tierra de los Dispositivos Eléctricos	29
2.15.3.Soldadura Exotérmica.....	30
2.16. Método de Medición de la Resistencia del Terreno.....	31
2.16.1.Regla del 62%	31
2.17. Método de Medición de la Resistividad del Terreno	32
2.17.1.Método de Wenner.....	32
2.18. Técnicas para Disminuir la Resistencia del Suelo	34
2.18.1.Incremento en la Cantidad de Electrodo	34
2.18.2.Incremento en la Profundidad del Electrodo.....	34
2.18.3.Manipulación Química del Suelo.....	35
2.19. Razonamiento de Tensión Tolerable	35

2.19.1.Tensión de Paso	36
2.19.2.Tensión de Toque.....	37
2.19.3.Límites Permitidos de las Tensiones de Paso y Toque	38
2.19.4.Tensiones de Paso y Toque Valores Reales.....	38
2.19.5.Especificación de los Factores ks , km , ki , n	40
2.20. Software a Utilizar.....	42
2.20.1.ETAP.....	42
2.21. Equipo a Utilizar.....	43
2.21.1.Teluometro Megger DET4TC2	43
2.22. Programas de Mantenimiento	44
2.23. Norma y Parámetros Establecidos	45
CAPITULO III.....	47
3. Evaluación Actual del Estado del Sistema de Puesta a Tierra.....	47
3.1. Método para Evaluar el Estado del Sistema de Conexión a Tierra.....	48
3.2. Aspectos Éticos y de Seguridad	49
3.3. Revisión de Planos Eléctricos del Sistema de Puesta a Tierra Existente.....	49
3.4. Identificación e Ubicación del Sistema de Puesta a Tierra Existente	51
3.5. Información sobre el Medidor de Resistencia de Puesta a Tierra	53
3.5.1.Configuración a Utilizar para el Equipo de Medición	54
3.5.2.Medición de Resistencia del Sistema Puesta a Tierra Existentes	55
3.6. Medición de la Resistividad del Terreno	57
3.6.1.Configuración a Utilizar para Medición de Resistividad.....	58
3.7. Recopilación de Datos de Medición de Resistencia del Terreno	59
3.8. Cálculo de la Resistividad del Terreno	60
3.9. Medición del Sistema de Puesta a Tierra Existente Utilizando el Método del 62%.....	64
3.10. Cálculo de la Resistencia del Sistema de Puesta a Tierra	66
3.11. Cálculo de Tensiones de Paso y Toque	67
3.11.1.Cálculo del Factor de Decremento.....	67
3.11.2.Cálculo de la Corriente Durante Falla.....	69
3.11.3.Cálculo del Coeficiente de División de la Corriente de Falla.....	70
3.11.4.Cálculo de la Máxima Corriente Durante una Falla.	71
3.11.5.Cálculo de Tensiones Tolerables de Paso y Toque.....	72
3.11.6.Cálculo del Aumento del Potencial de Tierra (GPR).....	73
3.11.7.Cálculo de Tensiones Reales de Paso y Toque	74

CAPITULO IV.....	78
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	78
4.1. Análisis de las Tensiones de Paso y Toque	78
4.1.1.Observaciones de Verificación del Sistema de Puesta a Tierra Existente	79
4.1.2.Verificación de Cumplimiento de la Normativa Eléctricas y de Seguridad	80
4.1.3.Análisis de las Tensiones de Toque y de Paso Calculadas	81
4.2. Simulación y Análisis Comparativo Utilizando el Programa ETAP	83
4.2.1.Simulación con el Software ETAP	83
4.2.2.Análisis de Resultados Utilizando el Programa ETAP	89
4.2.3.Análisis Comparativo de Tensiones de Paso Calculadas y Simuladas	90
4.3. Plan de Mantenimiento del Sistema de Puesta a Tierra	91
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES.....	95
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	96
ANEXOS.....	100

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Análisis de puntos de SPT.	10
Figura 2.	Representación de protección atmosférica.	12
Figura 3.	Representación de protección en sistema eléctrico.	12
Figura 4.	Representación de electrodo de varilla.	13
Figura 5.	Representación de electrodo químico.	14
Figura 6.	Representación de anillo puesta a tierra.	15
Figura 7.	Representación de los componentes implica la instalación.	15
Figura 8.	Representación sobre el estudio de resistividad térmica.	17
Figura 9.	Representación de parámetros utilizados para la resistividad eléctrica.	18
Figura 10.	Representación sobre fórmulas de resistividad.	19
Figura 11.	Representación sobre la medición de resistividad del terreno.	19
Figura 12.	Representación de diversos tipos de electrodos.	21
Figura 13.	Representación de tipos de electrodos.	23
Figura 14.	Longitud mínima L1 requerida según la categoría de SPCR.	24
Figura 15.	Representación de puesta tierra tipo B.	25
Figura 16.	Representación de profundidad del terreno observa los materiales.	26
Figura 17.	Representación del esquema de puesta a tierra.	28
Figura 18.	Representación Protección de puesta a tierra.	29
Figura 19.	Representación sobre conexión de tierra en dispositivo eléctrico.	29
Figura 20.	Representación de la colocación de soldadura exotérmica.	30
Figura 21.	Representación de medición aplicando la regla del 62%.	31
Figura 22.	Representación del método de wenner.	32
Figura 23.	Representación de tensión de paso.	36
Figura 24.	Representación de la tensión de toque.	37

Figura 25.	Representación de software ETAP.	42
Figura 26.	Telurómetro Megger DET4TC2.	43
Figura 27.	Representación Punto de puesta a tierra.	45
Figura 28.	Sistema de puesta a tierra existente.	47
Figura 29.	Representación gráfica del diagnóstico del sistema de conexión a tierra actual.	48
Figura 30.	Plano eléctrico del sistema de puesta a tierra existente.	50
Figura 31.	Plano eléctrico del sistema de puesta a tierra existente bloque E.	50
Figura 32.	Ubicación estratégica donde se realizar la evaluación.	51
Figura 33.	Ubicación de primer SPT existente.	52
Figura 34.	Ubicación del segundo sistema de puesta existente.	52
Figura 35.	Diseño de sistema puesta a tierra existente.	53
Figura 36.	Medidor de resistencia Telurómetro Megger.	54
Figura 37.	Representación del método 62% en telurómetro.	55
Figura 38.	Medición de sistema de puesta tierra utilizando un electrodo.	56
Figura 39.	Medición de sistema de puesta a tierra existente.	57
Figura 40.	Medición de la resistividad del terreno.	57
Figura 41.	Conexión por el método de 4 picas.	58
Figura 42.	Representación gráfica de la resistividad del terreno Norte a Sur.	62
Figura 43.	Representación gráfica de la resistividad del terreno Este a Oeste.	63
Figura 44.	Representación de medición de resistencia de PT aplicando el método de 62%.	65
Figura 45.	Método grafico del facto de división de corriente.	71
Figura 46.	Esquema de bloques del proceso de diseño.	81
Figura 47.	Representación de diseño del SPT existente.	84
Figura 48.	Modificación de datos del conductor.	85
Figura 49.	Modificación de datos de la varilla.	85
Figura 50.	Diseño de puesta a tierra existente en ETAP.	86
Figura 51.	Colocación de mediciones de resistencia del terreno.	86

Figura 52.	Grafica de curva de resistividad del terreno.....	87
Figura 53.	Editor de suelo para el sistema de puesta a tierra.	88
Figura 54.	Diagrama de resistividad del terreno en estudio.	88
Figura 55.	Valores de las tensiones de malla obtenidos mediante simulación.	89

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Tabla de porcentaje de reducción por aplicación de gel.....	35
Tabla 2.	Medición de resistencia del terreno Norte a Sur.....	59
Tabla 3.	Medición de resistencia del terreno Este a Oeste.	60
Tabla 4.	Cálculo de resistividad en dirección Norte a Sur.....	61
Tabla 5.	Cálculo de resistividad en dirección Este a Oeste.	62
Tabla 6.	Valor de resistencia del electrodo químico existente.....	65
Tabla 7.	Valor de resistencia de puesta a tierra existente.	66
Tabla 8.	Valores característicos del factor de decremento.	69
Tabla 9.	Corriente de cortocircuito.	70
Tabla 10.	Valor de resistividad tipos de terrenos.....	72
Tabla 11.	Valores de resultados de tensiones de paso y toque.	73
Tabla 12.	Valores de calibre de conductores.	76
Tabla 13.	Cálculo de los valores de los factores.....	77
Tabla 14.	Productos de resultados de tensiones reales de paso y toque.	77
Tabla 15.	Comprobación del sistema de puesta a tierra.	78
Tabla 16.	Valores típicos de resistividad.	80
Tabla 17.	Comparación de resultados tensiones tolerantes y reales de paso y toque.	82
Tabla 18.	Comparación de tensiones mediante cálculo y ETAP.	90

RESUMEN

El presente trabajo consiste en la evaluación de la efectividad del sistema de puesta a tierra, SPT, que presenta el edificio E. La adecuada operación de los equipos y sistemas eléctricos es vital para el desarrollo académico y la investigación. La evaluación del sistema de puesta a tierra cumple con la normativa IEEE Std 80-2013 y de seguridad en el edificio E, conociendo los detalles del sistema puesta a tierra como el tamaño mínimo sugerido para los electrodos y conductores proporciona un diseño económico de la instalación y una optimización de la conexión a tierra para un rendimiento seguro. El método de la resistividad del terreno empleando la regla del 62%. Los cálculos permitidos de las tensiones de paso y toque nos permiten evaluar el estado del sistema puesta a tierra existente. Para medir la resistividad eléctrica del terreno se empleó el método de Wenner que consiste en el utilizando de cuatro electrodos de formas alineadas, estas mediciones permiten calcular las tensiones de contacto y de paso reales como permisible comparándose para evaluar si se cumple con las condiciones iniciales para el diseño, luego se calcula la resistencia de la misma, se simula con el software ETAP y se compara estos resultados con las normas establecidas para el diseño del sistema de puesta a tierra. Los resultados obtenidos de resistencia de tierra se encuentran dentro de los rangos establecidos por las normativas y estándares pertinentes, se puede concluir que la edificación cumple con los requisitos mínimos de seguridad eléctrica en lo que respecta al sistema de puesta a tierra. La tensión de paso y de toque se sitúan dentro de los márgenes definidos en la normativa IEEE std. 80-2013. Mediante el plan de mantenimiento que ayudara a inspecciones y pruebas de mantenimiento detectando y corrigiendo problemas evitando así fallos críticos.

Palabra Clave: Sistema de Puesta a Tierra, IEEE Std 80-2013, ETAP, Resistividad, Resistencia, Evaluación

ABSTRACT

The present work consists of the evaluation of the effectiveness of the grounding system, SPT, presented by building E. The proper operation of electrical equipment and systems is vital for academic development and research. The evaluation of the grounding system complies with the IEEE Std 80-2013 and safety regulations in the building E, knowing the details of the grounding system such as the minimum suggested size for the electrodes and conductors provides an economical design of the installation and grounding optimization for safe performance. The ground resistivity method using the 62% rule. Allowable calculations of step and touch voltages allow us to evaluate the state of the existing grounding system. To measure the electrical resistivity of the ground, the Wenner method was used, which consists of using four electrodes of aligned shapes. These measurements allow calculating the real contact and step voltages as permissible, comparing them to evaluate whether the initial conditions for the design, then its resistance is calculated, simulated with the ETAP software and these results are compared with the standards established for the design of the grounding system. The results obtained for ground resistance are within the ranges established by the relevant regulations and standards, it can be concluded that the building meets the minimum electrical safety requirements with regard to the grounding system. The step and touch voltage are within the margins defined in the IEEE std. 80-2013. Through the maintenance plan that will help with inspections and maintenance tests, detecting and correcting problems, thus avoiding critical failures.

Keyword: Grounding System, IEEE Std 80-2013, ETAP, Resistivity, Resistance, Evaluation

ACRONIMOS

- A: área de la sección transversal
- a: Distancia
- AWG: American Wire Gauge
- b: Profundidad
- d: Diámetro
- D: Espacio conductor
- Df: factor decremento
- E: Campo Eléctrico
- Em: Tensión de toque
- Es: Tensión de paso
- Estep: Tensión de step
- Etouch: Tensión de touch
- FEM: Métodos de Elementos Finitos
- h: Profundidad
- hs: Altura de capa del terreno
- I: Corriente
- IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers
- If: Corriente de falla
- Ig: Corriente máxima
- J: Densidad de Corriente
- Kh: Ponderación correctivo

- Ki: Geometría de la malla
- Kij: Factor de ajuste correctivo
- Km: Tensión de toque
- Ks: Tensión de paso
- kV: Kilovoltios
- kVA: Kilovoltios-amperios
- L: longitud
- Lc: Longitud total del conductor
- Lm: Longitud de efectividad
- Lr: Longitud de cada varilla
- Lr: Longitud total de las varillas
- Ls: Longitud efectiva del conductor
- Lx: Longitud máxima
- Ly: Longitud máxima
- m: Metro
- mm: milímetro
- MPT: malla puesta a tierra
- n: Número de conductores
- ohm: Ohmio
- Pa: Resistividad Aparente
- ps: Resistividad superficial del terreno

- R: Resistencia
- SPT: Sistema de Puesta A Tierra
- Ta: Relación
- Tf: Tiempo de falla
- TI: Tecnología De La Información
- ts: Tiempo de despeje de falla
- V: Potencial
- κ : kappa
- ρ : Resistividad
- σ : sigma
- Ω : Ohmio
- UPS: Universidad Politécnica Salesiana
- INEN: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- K: coeficiente del conductor y de sus temperaturas
- 3F: Trifásico.

CAPITULO I

1.1. TITULO

Evaluación de la efectividad del Sistema de Puesta Tierra en el Bloque E de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.

1.2. INTRODUCCIÓN

La seguridad eléctrica es un aspecto clave en el uso de las instalaciones, especialmente en ambientes educativos como en el Bloque E de la UPS, Sede Guayaquil Campus Centenario. La evaluación de la efectividad del SPT del edificio se presenta como un estudio importante para garantizar un ambiente seguro y funcional. El propósito de este análisis es evaluar los sistemas de puesta a tierra de acuerdo con la norma de la IEEE sdf.80-2013 más actualizada y así reconocer su importancia para prevenir riesgos eléctricos y contribuir a la integridad de la instalación.

Para alcanzar estos objetivos se han establecido varias tareas específicas. Primero, medir la resistencia del suelo del edificio en varios puntos estratégicos para garantizar que se cumpla con los códigos y normas aplicables. Utilizando métodos de medición adecuados, se calculará la resistencia del suelo en un punto determinado para corroborar que se mantiene dentro de los márgenes establecidos por la normativa vigente.

Luego, se procederá a realizar una minuciosa inspección con el objetivo de asegurar la conformidad con las normativas eléctricas y de seguridad pertinentes. Este procedimiento es esencial para verificar que el sistema de puesta a tierra satisfaga los estándares locales o industriales que salvaguardan la integridad y seguridad de las infraestructuras eléctricas.

La importancia de un SPT efectivo en edificaciones como en el Bloque E de la UPS Sede Guayaquil no puede ser subestimada, este componente esencial del sistema eléctrico garantiza la disipación segura de corrientes no deseadas, minimizando así el riesgo de que equipos se dañen, corte de electricidad y, lo más importante, se protegerá la vida de las personas.

Esta evaluación tiene el fin de identificar posibles deficiencias, proponer mejoras y asegurar su conformidad con las normativas y estándares pertinentes. Mediante una combinación de análisis teórico y práctico, esta investigación buscará aportar conocimientos sólidos y recomendaciones prácticas para optimizar la seguridad eléctrica en el Bloque E, contribuir al bienestar y la protección de la comunidad universitaria.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En muchas regiones, la presencia de suelos salinos es una ocurrencia común que plantea desafíos significativos para la operación segura y eficiente de sistemas de puesta a tierra en edificaciones. La elevada conductividad eléctrica y el proceso acelerado de corrosión que caracterizan a estos suelos pueden comprometer la integridad de los SPT, aumentando así los riesgos que se dañen los equipos, interrupciones en el suministro eléctrico y, en última instancia, poniendo en peligro la seguridad de las personas [1].

La alta conductividad eléctrica de los suelos salinos, combinada con sus propiedades corrosivas, representan una seria amenaza para la efectividad del sistema de puesta a tierra, estas condiciones pueden reducir la eficiencia del sistema y aumentar el riesgo de daños al suelo, equipos eléctricos, cortes de energía y, lo más importante, la seguridad de las personas que utilizan estas instalaciones. Por lo tanto, es necesario evaluar la efectividad y durabilidad del SPT instalado en este edificio [2].

La relevancia de esta investigación radica en su potencial para aportar soluciones específicas y efectivas a los problemas que plantean los suelos salinos. Identificar estrategias para reducir la corrosión y mantener la eficiencia de la puesta a tierra en estas condiciones no solo beneficiará a la Universidad Politécnica Salesiana, sino que también servirá como referencia para otros edificios que enfrentan desafíos similares. Asimismo, este estudio desempeña un papel fundamental en la salvaguardia de los aspectos fundamentales de la infraestructura educativa, cuidado de la dignidad y bienestar individual y la preservación de la funcionalidad de los equipos eléctricos.

Esto incluye un análisis detallado del estado actual del sistema, identificación de factores que afectan el rendimiento del sistema y recomendaciones de acciones correctivas o de

mejora. También se buscó desarrollar un conjunto de recomendaciones prácticas para la gestión eficaz de estos sistemas en entornos similares [3].

La finalización exitosa de este estudio tiene importantes implicaciones para la gestión de la infraestructura eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Los resultados obtenidos no sólo mejoran la seguridad y eficiencia del sistema de puesta a tierra del Bloque E, sino que también proporciona una base para futuras construcciones o modificaciones en entornos con propiedades de suelo similares. Por tanto, el estudio contribuye significativamente a la mejora de los sistemas de conexión a tierra en situaciones difíciles y a garantizar la integridad de la instalación y la seguridad de los usuarios.

La necesidad de evaluar la efectividad y la durabilidad del sistema de puesta a tierra en el edificio bloque B construido sobre un suelo salino. Además, se va a considerar la identificación de estrategias efectivas para mitigar la corrosión y mantener la eficacia de la puesta a tierra en estas condiciones.

1.4. JUSTIFICACIÓN

La motivación del presente proyecto para evaluar la efectividad del SPT del Bloque E de la Universidad Politécnica de Guayaquil se basa en la importancia crítica de garantizar la seguridad eléctrica en un ambiente académico. La integridad del sistema de puesta a tierra es esencial para prevenir riesgos eléctricos, proteger la vida de los ocupantes y mantener la funcionalidad de los equipos sensibles. Por encima de todo, nuestra principal preocupación es garantizar la seguridad de nuestros estudiantes, profesores y personal.

La evaluación de la efectividad del sistema de puesta a tierra tiene como objetivo identificar posibles deficiencias en el sistema actual para limitar los peligros eléctricos que amenazan la seguridad y el bienestar de la comunidad universitaria en el Bloque E. Además, la base es el respeto y la observancia de las leyes de regulaciones tanto a nivel nacional como internacional son fundamentales. de seguridad eléctrica. Un sistema de puesta a tierra efectivo es un requisito indispensable que cumple con ciertos estándares y garantiza que la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil cumpla con las mejores prácticas internacionales en seguridad eléctrica.

En un contexto más amplio, la justificación se fundamenta en la protección de la infraestructura eléctrica y electrónica del Bloque E. La adecuada operación de los equipos y sistemas eléctricos es vital para el desarrollo académico y la investigación, y la evaluación del sistema de puesta a tierra contribuye a su mantenimiento.

En síntesis, la justificación de este anteproyecto radica en la necesidad crítica de salvaguardar la seguridad eléctrica, asegurar el cumplimiento normativo, optimizar la operatividad y resguardar la integridad de los equipos en la edificación. Abordar las deficiencias habituales en la malla de puesta a tierra a lo largo del tiempo constituye una medida preventiva esencial para prevenir problemas graves y costosos en el futuro, al tiempo que se fomenta un entorno eléctricamente seguro y eficiente en la infraestructura. Este proyecto será de gran valor para diseñadores, ingenieros eléctricos, propietarios de edificios y autoridades reguladoras, ya que proporcionará información crítica para garantizar la seguridad eléctrica en edificaciones ubicadas en suelos salinos.

1.5. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La delimitación de la problemática del proyecto de evaluación de la eficiencia del SPT del Bloque E de la Universidad Salesiana de Guayaquil campus establece los límites precisos y el alcance del estudio para comprender con claridad el problema considerado.

En primer lugar, la evaluación se limita al Bloque E de la UPS de Guayaquil Campus Centenario. El estudio se centra únicamente en este edificio y limita su alcance geográfico y arquitectónico a los objetos específicos de este sector de la universidad.

Los límites también se extienden a la evaluación de sistemas de puesta a tierra. Si bien existen muchos aspectos relacionados con la infraestructura eléctrica, este proyecto se enfoca en analizar la eficiencia y adecuación del sistema de puesta a tierra de la Unidad E. Otros factores eléctricos podrán ser considerados en estudios futuros, pero no son parte del trabajo directo de este proyecto.

Los límites temporales crean un marco de investigación claro que cubre un período de tiempo específico. Como las condiciones y tecnologías pueden cambiar con el tiempo, se realiza una

evaluación teniendo en cuenta la condición actual del SPT de la Unidad E antes de la fecha de inicio del proyecto.

Este proyecto no cubre más cambios regulatorios o actualizaciones, pero pueden ser objeto de investigaciones futuras. La definición del problema establece límites concisos para asegurar la evaluación, enfocándose en el Bloque E de la UPS Sede Guayaquil, el sistema de puesta a tierra hasta la fecha de inicio del proyecto.

1.6. BENEFICIARIOS DE LA PROPUESTA

Los principales beneficiarios de la propuesta de evaluación de la efectividad del SPT en el Bloque E de las instalaciones de la UPS de Guayaquil son principalmente miembros de la comunidad universitaria que ocupan y transitan por el Bloque E, estudiantes, docentes y personal administrativo serán inmediatamente beneficiarse de un entorno seguro con riesgos eléctricos mínimos, garantizando su bienestar y seguridad en el edificio.

La propia Universidad Politécnica Salesiana también se beneficia de la conformidad con las normativas y estándares tanto a nivel nacional como internacional de seguridad eléctrica. Esto ayuda a fortalecer la reputación de la institución y demuestra su compromiso con la seguridad y el cumplimiento, elementos esenciales para mantener la calidad y un excelente ambiente académico.

Además de preservar la integridad de los individuos y los activos, este tipo de investigación también aporta al cumplimiento normativo y al apego a estándares de seguridad, lo que a su vez consolida la imagen y reputación de la entidad. Al garantizar una puesta a tierra adecuada, se reducen al mínimo los riesgos de daños en los equipos y se extiende su vida útil, generando ahorros significativos en términos de mantenimiento y reposiciones.

En un enfoque más amplio, las comunidades locales también se benefician indirectamente. La evaluación y mejora del SPT del Bloque E permitirá reducir el riesgo de incidentes eléctricos que podrían afectar no sólo a la universidad sino también a sus alrededores. Esto contribuye a la seguridad general de la comunidad y refuerza la relación positiva entre la universidad y el medio ambiente.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. Objetivo General

Evaluar el sistema de puesta a tierra del bloque E de Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil conforme a estándares nacionales e internacionales, contribuyendo a un entorno seguro y funcional.

1.7.2. Objetivos Específicos

- Medir la resistencia de tierra en diversos puntos de la edificación para verificar conformidad con las normativas y estándares aplicables.
- Calcular la resistencia de tierra en puntos estratégicos de la edificación utilizando métodos de medición adecuados, asegurando que esté dentro de los límites aceptables según las normativas vigentes.
- Verificar el cumplimiento de normativas eléctricas y de seguridad en la edificación, asegurando que el sistema de puesta a tierra cumple con los requisitos locales o sectoriales.
- Simular el diseño del sistema puesta a tierra instalada en el edificio E en el software ETAP para corroborar los parámetros del sistema puesta a tierra de la instalación.
- Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para garantizar la integridad a largo plazo del sistema de puesta a tierra y su capacidad para cumplir con los requisitos de seguridad.

1.7.3. Metodología y Medios

Cumplir con la adecuada evaluación del sistema de puesta a tierra en la edificación, es una tarea importante para garantizar la seguridad eléctrica, la metodología aplicada para la investigación son el método de medición y analítico, consistiendo en los siguientes pasos:

1. Realizar una revisión exhaustiva de literatura relacionada con sistemas de puesta a tierra, normativas eléctricas, y estudios de casos similares.
2. Revisar los planos eléctricos y de puesta a tierra de la edificación para entender cómo se ha diseñado el sistema de puesta a tierra.
3. Analizar los datos recopilados, identificar tendencias y evaluar el cumplimiento con normativas y estándares internacionales y nacionales aplicables.
4. Identificar los puntos clave de conexión a tierra, como barras de tierra, electrodos y mallas.
5. Realiza una inspección visual de la malla de puesta a tierra en toda la edificación y así buscar daños físicos, corrosión, conexiones sueltas o daños por impacto.
6. Utilización de un medidor de resistencia de tierra para medir la resistencia del sistema de puesta a tierra en diferentes puntos.
7. Seleccionar puntos estratégicos, como cerca de electrodos y puntos de conexión importantes.
8. Ejecutar el respectivo cálculo de la resistencia de tierra en puntos estratégicos de la edificación utilizando métodos de medición adecuados, asegurando que esté dentro de los límites aceptables según las normativas vigentes.
9. Se realizará pruebas funcionales, como la inyección de corriente de prueba para verificar la efectividad de la puesta a tierra.
10. Documentar todos los resultados de las mediciones y las observaciones realizadas durante la inspección.
11. Generar un informe detallado que incluya las condiciones encontradas, las mediciones realizadas y las acciones recomendadas, en caso de que se hayan identificado problemas.

12. Utilización de software especializado para simular el comportamiento del sistema de puesta a tierra bajo diversas condiciones y así comparar los resultados simulados con los valores instalados.
13. Proponer medidas correctivas o de mejora en base a los resultados obtenidos mediante un plan de mantenimiento preventivo para garantizar la integridad a largo plazo del sistema de puesta a tierra.
14. Realizar la entrega formal del proyecto en su fase final.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Revisión de Literatura o Fundamentos Teóricos

La evaluación del SPT de la Unidad E de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede, Guayaquil, según estándares nacionales e internacionales, es un proceso crítico que requiere un conocimiento profundo de diversos aspectos técnicos y regulatorios. Esta revisión se centra en tres áreas principales: la base teórica de los sistemas de puesta a tierra, las normas nacionales e internacionales relevantes y la importancia de estos sistemas en la creación de un entorno seguro y funcional.

La investigación de Morales [4], proporciona una base sólida para comprender la importancia de seleccionar el SPT correcto para cada situación. La aplicación de un proyecto de investigación técnica correlacional centrado en el SPT en forma de barras de la empresa minera Zanja de Cajamarca proporciona un modelo valioso para evaluar sistemas similares en otros entornos, incluidas instituciones académicas como la Universidad Politécnica Salesiana. El análisis crítico utilizado en este estudio resalta la importancia de evaluar cuidadosamente los SPT para así asegurar la seguridad y eficiencia operativa.

En el trabajo de Villamarín [5], resalta el análisis de la resistividad donde es fundamental dar la debida importancia al suelo en el diseño de un SPT eficaz. Estas propiedades del suelo afectan directamente la eficiencia del sistema de transporte de corriente terrestre. Además, las especificaciones de los transformadores proporcionadas por la empresa son importantes para determinar los requisitos de conexión a tierra, ya que la capacidad y las especificaciones del transformador pueden afectar la configuración del sistema.

El proyecto del autor Guel [6], sirve como modelo para proyectos similares en otras instituciones educativas o instalaciones industriales y resalta la importancia de un análisis detallado y una planificación cuidadosa al diseñar un SPT. El logro de una compañía es cumplimiento de los objetivos de diseño, el cumplimiento de las regulaciones y la mejora de la seguridad y protección de los equipos proporciona precedentes valiosos que pueden

replicarse y aplicarse en otras situaciones, lo que conduce a mejoras continuas en la seguridad eléctrica y la eficiencia de la planta.

2.2. Sistema de Puesta a Tierra

Las redes de distribución de un SPT como se muestra en la figura 1, se conoce como el dispositivo capaz de disipar rápidamente la corriente de falla en caso de un mal mantenimiento en el sistema de energía, puede efectivamente controlar el incremento del potencial de tierra proporcionando así una protección efectiva para la seguridad tanto del personal como de los equipos. Un componente fundamental para que un SPT sea efectivo es una resistencia baja al suelo, una capacidad suficiente para manejar la carga de corriente, y la garantía de un potencial de tierra homogéneo en todos los recintos metálicos y estructuras de metal en el generador y en la zona de distribución [7][8].

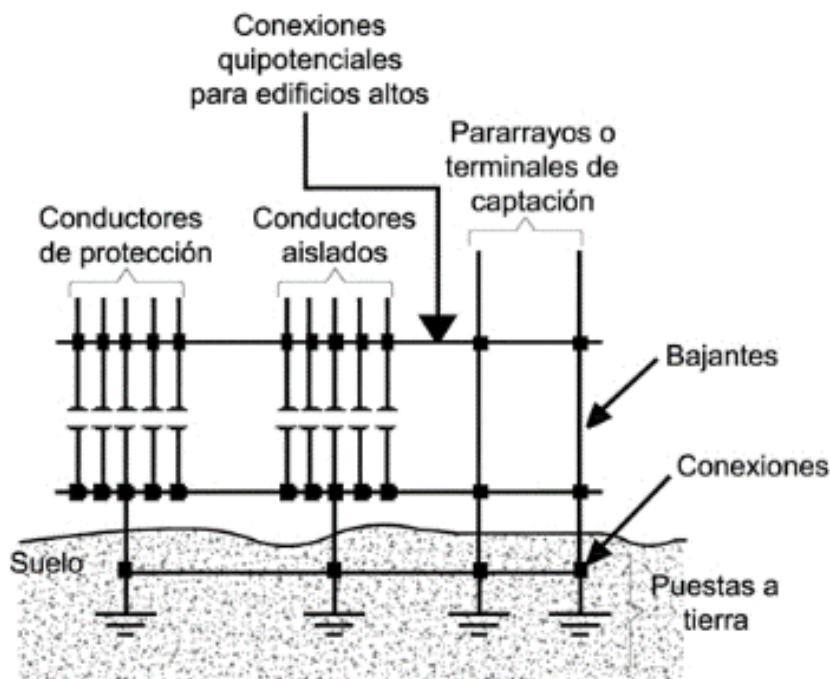


Figura 1. Análisis de puntos de SPT.

Fuente:[9]

El análisis detallado del SPT es esencial para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema eléctrico. La evaluación precisa de la fiabilidad y protección de los dispositivos de puesta a tierra se vuelve crucial, dado que esta tecnología abarca varias disciplinas, como ingeniería geotécnica y estudios del suelo.

La estructura del suelo juega un papel fundamental en el desempeño de este sistema, siendo especialmente desafiante en áreas con alta resistividad del suelo, lo que impacta en el diseño, operación y mantenimiento de los dispositivos de SPT [10].

El SPT constituye una parte fundamental en cualquier instalación eléctrica, y su propósito incluye:

- Restringir la tensión que puedan tener las masas metálicas con respecto a la tierra.
- Garantizar el funcionamiento adecuado de los dispositivos de protección.
- Reducir o eliminar el riesgo asociado a posibles fallos en el material eléctrico utilizado.

Principalmente, hay dos tipos de protecciones que dependen fundamentalmente de la puesta a tierra para operar correctamente: la protección contra sobretensiones transitorias (orientada a la seguridad de equipos) y la protección diferencial contra contactos indirectos (centrada en la seguridad de las personas) [11].

2.3. Tipos de Tierra

Al evaluar la efectividad de un SPT, es importante considerar los diferentes tipos de SPT disponibles. Esto se debe a que cada SPT se adapta a requisitos específicos, de acuerdo con las particularidades del sistema eléctrico y del contexto de instalación.

2.3.1. Puesta a Tierra de Protección Atmosférica

Método de protección de materiales y seres vivos extinguiendo la corriente generada por descargas atmosféricas, como los rayos. Esto se realiza mediante una rejilla metálica equipotencial conectada a tierra y que cubre el equipo o edificio a proteger de qué manera se visualiza en la figura 2 [12].

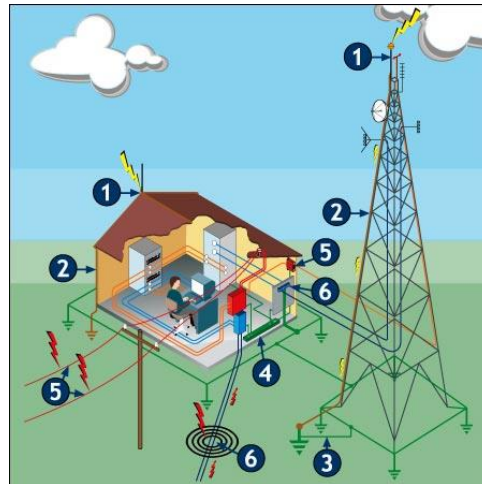


Figura 2. Representación de protección atmosférica.

Fuente:[13]

2.3.2. Puesta a Tierra para Sistemas Eléctricos

Es una parte esencial de cualquier sistema eléctrico, garantizando la protección de la seguridad de individuos y la salvaguarda de los equipos en situaciones de falla o sobretensión como en la figura 3. Este tipo de conexión a tierra está destinado a limitar los altos voltajes que pueden ser causados por una variedad de condiciones, incluidos rayos, inducción electromagnética o contacto accidental con cables de alto voltaje [14].

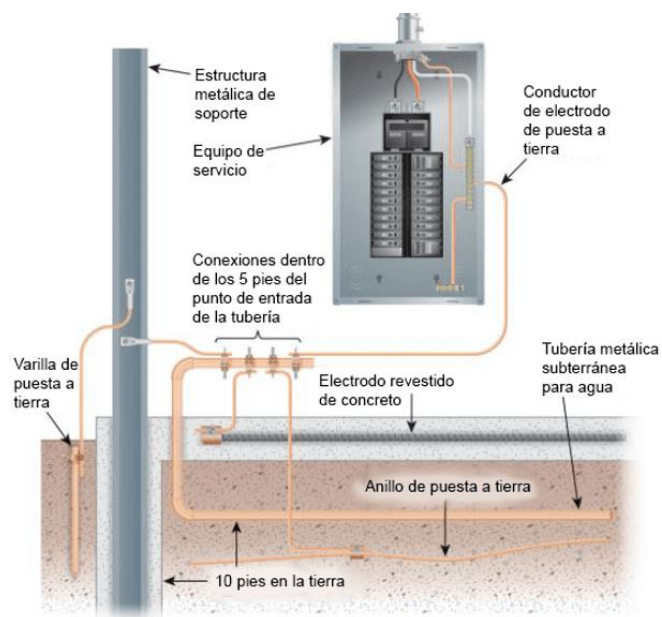


Figura 3. Representación de protección en sistema eléctrico.

Fuente:[15]

2.3.3. Puesta a Tierra con Electrodo de Varilla

Este es un método comúnmente utilizado para establecer una conexión efectiva entre el sistema eléctrico y tierra. Este enfoque implica insertar una varilla de metal como se observa en la figura 4, generalmente hecha de un material como cobre o acero galvanizado en el suelo para crear un camino seguro para que en caso de que se produzca un fallo o un aumento de tensión en la red eléctrica, la corriente fluya hacia la tierra. [16].

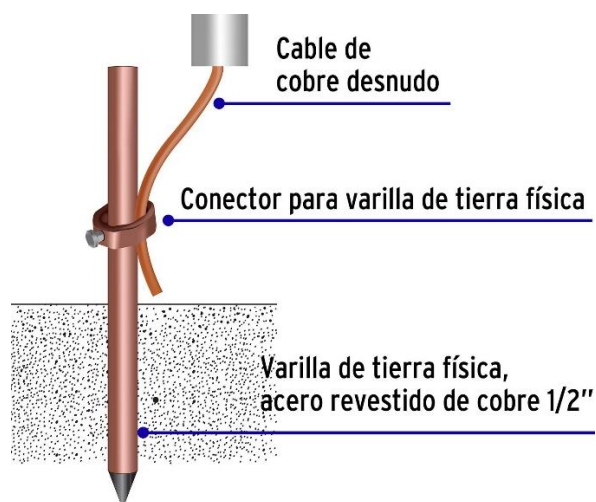


Figura 4. Representación de electrodo de varilla.

Fuente:[17]

2.3.4. Puesta a Tierra Química

La conexión a tierra de la placa base es una opción que se utiliza en situaciones en las que el espacio es limitado o las condiciones de conexión a tierra no son adecuadas para otros métodos de conexión a tierra, como las varillas de conexión a tierra por eso se coloca un electrodo químico como en la figura 5. Este método garantiza una conexión a tierra confiable y contribuye a la seguridad del sistema eléctrico y de las personas en caso de un corte de energía. Como cualquier otro SPT, con placas de enlace a tierra, requieren el cumplimiento de los códigos y normas aplicables y un mantenimiento regular para garantizar un funcionamiento óptimo [18].

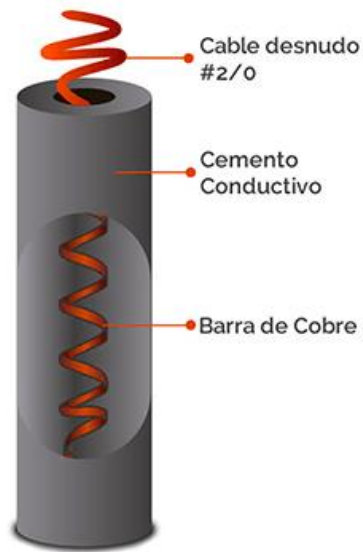


Figura 5. Representación de electrodo químico.

Fuente:[19]

2.3.5. Puesta a Tierra con Anillo de Tierra

Es una tecnología especial utilizada en SPT eléctrica para aumentar la eficiencia de la conexión a tierra aumentando la conductividad del suelo debido a eso se representa con un anillo de tierra observado en la figura 6.

Este enfoque implica el uso de productos químicos aplicados alrededor del suelo y de los electrodos de tierra para reducir la resistencia eléctrica del suelo. La conexión a tierra química se utiliza en situaciones en la cual la tierra tiene una alta resistencia natural o se requiere una conexión a tierra de baja resistencia para cumplir con los estándares de seguridad eléctrica. Este método es particularmente útil en áreas con suelos rocosos o secos donde la resistencia del suelo puede dificultar la conexión a tierra convencional [20].

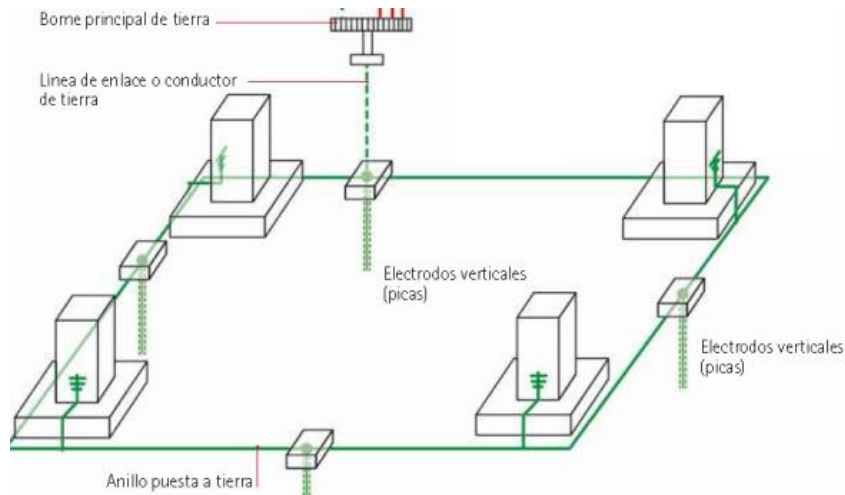


Figura 6. Representación de anillo puesta a tierra.

Fuente:[21]

2.4. Optimización de la Conexión a Tierra para un Rendimiento Seguro y Eficiente

La conducción hacia tierra implica la instalación de tres componentes que son:

1. Las redes eléctricas.
2. Los dispositivos.
3. Las cubiertas conductoras de dispositivos.

La conexión a tierra es indispensable en las tres categorías distintas: circuitos, equipos y envolventes metálicas. Al realizar la instalación eléctrica, se integra la toma de tierra al circuito. Es crucial que las conexiones sean ininterrumpidas y fijas, que el conductor cuente con una sección apropiada para soportar la corriente en caso de un fallo.

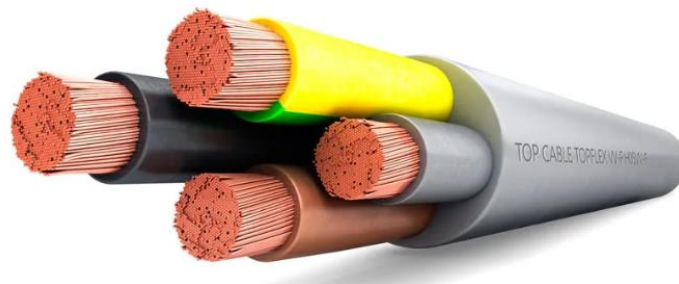


Figura 7. Representación de los componentes implica la instalación.

Fuente:[22]

Conforme a las directrices del código, se describe al conductor de tierra como aquel empleado para realizar la conexión del equipo con el electrodo de tierra. Este cable debe tener una baja resistencia eléctrica, donde dicha resistencia se refiere a la oposición al flujo de corriente, y se busca mantener este valor lo más bajo posible.

La conexión del conductor debe ser continua al instalar un circuito eléctrico, utilizando el calibre apropiado para que el conductor pueda soportar la carga proporcionada. Además, es esencial reducir la impedancia o resistencia al paso de la corriente.

Así, la descripción de una conexión a tierra eficiente señala que la tierra conforma un circuito eléctrico adicional. Su establecimiento debe llevarse a cabo con las precauciones y consideraciones equivalentes a las que se implementan en cualquier otro circuito eléctrico o derivado.

Estos conductores son:

1. La conexión principal del puente.
2. El cableado de los electrodos de conexión a tierra.
3. Cable de enlace con el suelo del dispositivo o zona de protección.

El conductor de tierra solamente transporta corriente en situaciones de fallo, y no durante el funcionamiento normal del circuito cuando está suministrando energía [23].

2.5. Consideraciones Básicas de Resistividad Térmica

La resistencia térmica es un concepto importante en diversos campos, desde la energía solar hasta la termodinámica de gases. Se define como la habilidad de un material que impide el paso de calor y se expresa en términos de temperatura y longitud. Para comprender la base, debemos considerar la resistencia térmica de la Tierra, que es un tema candente en la generación de energía solar [24]. En este contexto, se estudian las características térmicas del terreno para optimizar la eficiencia de los sistemas de energía solar.

Otro aspecto importante es la relación entre la conductividad térmica y la resistencia de contacto a través de estudios se mide la resistividad térmica como en la figura 8. La experiencia práctica en termodinámica resalta la importancia de tener en cuenta las

consideraciones adecuadas para garantizar mediciones precisas de la conductividad térmica. En la ingeniería mecánica se utilizan métodos experimentales como la detección de radiación térmica y nuclear para medir la resistencia térmica. Este enfoque práctico proporciona información valiosa sobre la radiación y otros parámetros relacionados con la transferencia de calor [25].



Figura 8. Representación sobre el estudio de resistividad térmica.

Fuente:[26]

2.6. Definición Eléctrica de Resistividad

La resistencia eléctrica es una propiedad clave que evalúa la resistencia de un material al flujo de corriente eléctrica. Esto está representado por el símbolo griego σ (sigma) o, a veces, por la letra κ (kappa) [2]. Esta medición es importante para comprender cómo un material conduce la electricidad y cómo se relaciona con la resistencia eléctrica mediante la ley de Ohm.

La resistividad se define matemáticamente como la relación entre el El campo eléctrico (E) y la conductividad eléctrica (J) y viene dada por la fórmula $\rho = E/J$. Cuanto mayor es la resistividad de un material, más resiste la corriente eléctrica y mayor es la resistencia eléctrica producida por eso se representa en la figura 9.

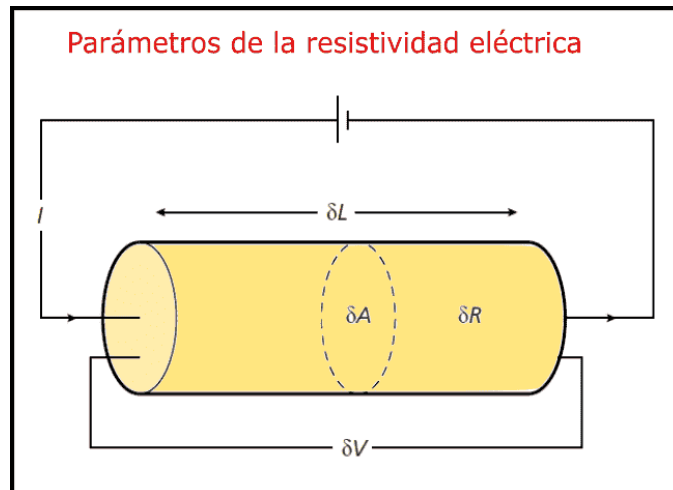


Figura 9. Representación de parámetros utilizados para la resistividad eléctrica.

Fuente:[27]

En pocas palabras, la resistividad se define como la resistencia eléctrica característica de un material. Esto puede considerarse como lo inverso de la conductividad eléctrica, que indica con qué facilidad un material permite que fluya la corriente eléctrica. Los materiales con alta resistividad son aislantes eléctricos, mientras que los materiales con baja resistividad son buenos conductores [26].

2.7. Resistividad y Resistencia

La resistencia es una característica de propiedad inherente de un material que muestra su habilidad para oponerse al paso de corriente eléctrica. Se representa con el símbolo griego ρ (rho) y se expresa en ohmios por metro ($\Omega \cdot m$). Por otro lado, la resistencia eléctrica (R) es una medida de la resistencia de un determinado componente u objeto a la corriente eléctrica y está relacionada con la resistencia mediante la fórmula $R = \rho(L/A)$. Donde "L" representa la longitud y "A" denota la superficie transversal.

La resistividad es una propiedad macroscópica que depende de la resistencia del material y del tamaño de las partículas. Cuanto mayor es la resistencia de un material, más impide el paso de la corriente eléctrica. Por otro lado, a medida que aumenta el tamaño del área transversal, la resistencia disminuye, mientras que, al aumentar la longitud de la pieza, la resistencia aumenta [28].

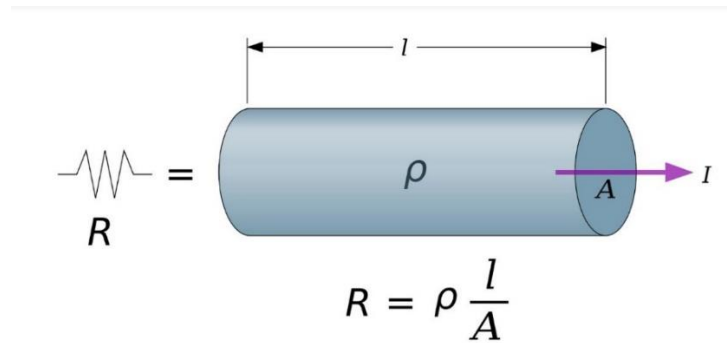


Figura 10. Representación sobre fórmulas de resistividad.

Fuente:[29]

2.8. Resistividad del Terreno

La resistividad del terreno en función de la capacidad del suelo para resistir el paso de corriente eléctrica se visualiza en la figura 11 sobre la medición de resistividad. Este parámetro es esencial en el boceto de SPT y en la evaluación de la seguridad eléctrica en instalaciones. Los estudios geo eléctricos, como los que involucran la resistividad del terreno, se llevan a cabo para comprender la distribución de las propiedades eléctricas del subsuelo, lo que impacta directamente en la eficacia de las conexiones a tierra en sistemas eléctricos [30].

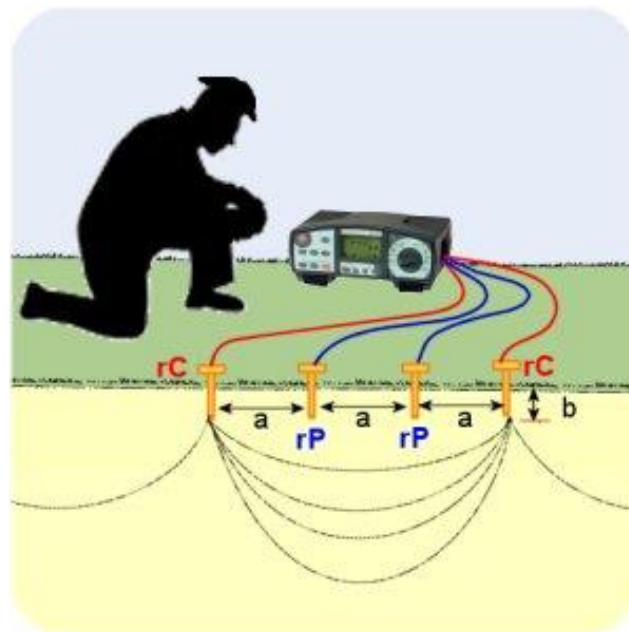


Figura 11. Representación sobre la medición de resistividad del terreno.

Fuente:[31]

Varios factores afectan la resistividad del suelo, incluida la humedad, el tipo de suelo y la presencia de minerales permeables. La conexión a tierra de baja impedancia promueve una conexión a tierra eficaz y evita la acumulación de cargas peligrosas en las instalaciones eléctricas. Medir la resistencia a tierra es importante para garantizar un diseño de puesta a tierra eficaz y seguro, especialmente en entornos industriales y de infraestructura crítica [32].

2.9. Compactación del Terreno

La introducción de electrodos de pica mediante las vibraciones generadas por un equipo de penetración puede causar una distancia entre la pica y el suelo. Por esta razón, se recomienda compactar el suelo para asegurar una conexión efectiva entre el electrodo y la tierra.

Para las conexiones a tierra, se pueden emplear diversos tipos de electrodos, principalmente constituidos por:

- Barras y tubos metálicos.
- Placas y conductores expuestos.
- Elementos planos.
- Configuraciones de anillos o redes metálicas compuestas por las piezas mencionadas o sus composiciones.
- Estructuras de concreto enterradas, excluyendo aquellas pretensadas.
- Infraestructura subterránea que resulte adecuada.

El electrodo seleccionado, los elementos empleados presentados en la figura 12, en el que la profundidad de enterramiento debe ser tales que posibles factores para así evitar que la resistencia eléctrica supere los valores establecidos debido a la deshidratación del terreno, oxidación, existencia de hielo u otras condiciones meteorológicas.

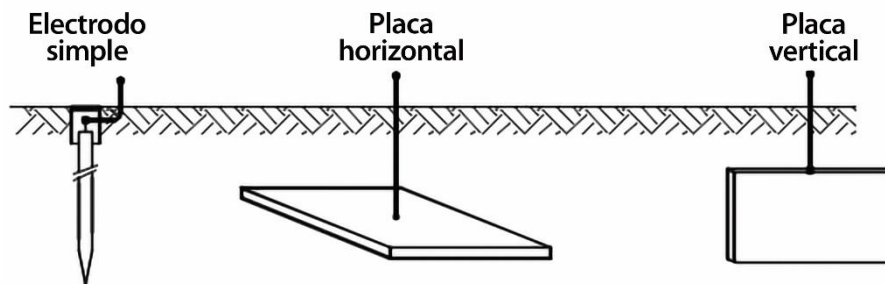


Figura 12. Representación de diversos tipos de electrodos.

Fuente:[33]

La profundidad mínima nunca debe ser inferior a 0.50 m.

Es importante destacar que no se deben utilizar las tuberías metálicas destinadas a otros suministros (como agua, líquidos o gases inflamables, calefacción central, etc.) como puntos de conexión a tierra por motivos de seguridad. En cuanto a los accesorios para sistemas de tierra, la conexión entre los electrodos y el suelo permite la conducción eficiente de corriente eléctrica, mientras que una conexión deficiente dificulta este proceso.

Como se indicó en la explicación sobre el enlace con el suelo, la función principal del electrodo es conservar el potencial del SPT tan próximo a cero como sea posible. Con el fin de alcanzar este propósito, resulta crucial que la conexión entre el electrodo y el suelo sea altamente eficiente. La resistencia de paso a tierra, medida en ohmios, es el parámetro que define la calidad de dicho contacto [33].

2.10. Conductividad Eléctrica en Terrenos Salinos

En suelos con alta salinidad, la conductividad eléctrica suele ser mayor debido a la presencia de iones cargados en el agua del suelo. Esto puede impactar la resistividad del suelo, un parámetro crucial para el boceto de SPT. En una malla a tierra, la resistividad del suelo influye directamente en la capacidad de disipación de corrientes eléctricas hacia la tierra.

Para abordar suelos salinos, es importante considerar estrategias específicas. Uno de los enfoques podría ser aumentar la densidad de las picas de tierra para reducir la resistencia total del sistema.

La corrosión en la varilla de cobre puede deberse a la formación de compuestos corrosivos, como cloruros, sulfatos o carbonatos, presentes en el suelo salino. Estos compuestos pueden reaccionar con el cobre, causando la formación de óxidos y reduciendo la conductividad eléctrica del material. La disminución en la conductividad puede afectar negativamente la capacidad de disipación de corrientes eléctricas hacia la tierra.

2.11. Tamaños Mínimos sugeridos para los Electrodo de Conexión a Tierra

Existen electrodos tanto naturales como artificiales. Los electrodos artificiales se refieren a elementos metálicos cuyo propósito principal es facilitar en el caso de la conexión a tierra, los electrodos artificiales son elementos específicamente instalados con el propósito de cumplir con esa función, a diferencia de los electrodos de origen natural, son piezas de metal enterradas que tienen una función adicional, como sucede con las armaduras metálicas o los pilares.

Comúnmente, los electrodos fabricados se hacen de cobre o acero galvanizado debido a que estos elementos conservan su integridad frente a la humedad y los procesos químicos del terreno.

Tipos de electrodos representados en la figura 13 son los más comúnmente utilizados:

- Picas
- Placas
- Conductores enterrados

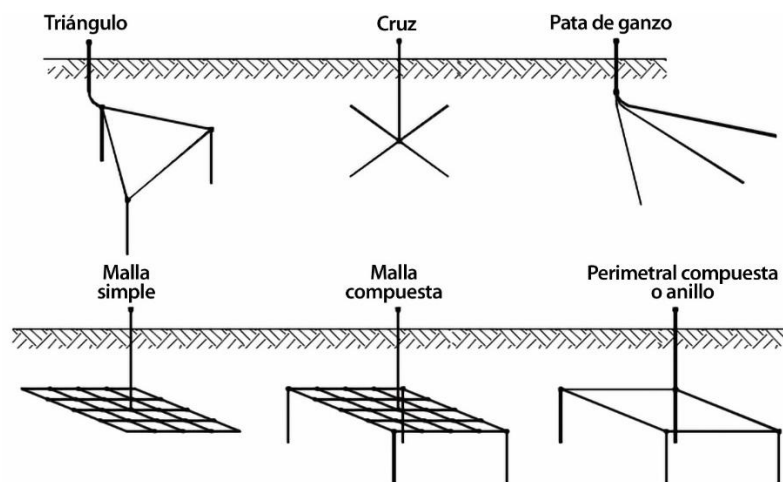


Figura 13. Representación de tipos de electrodos.

Fuente:[33]

Los cables de tierra, también llamados líneas de conexión, son aquellos conductores que establecen la conexión entre el terminal principal o punto de conexión a tierra y el conjunto de electrodos o anillo. Este conductor de tierra establece la conexión entre el anillo o los electrodos de conexión a tierra (toma de tierra) y el borne principal de tierra [33].

2.12. Secciones mínimas convencionales de los conductores

Según la regulación antigua, este conductor debía tener al menos Secciones de 35 mm² en cobre o 50 mm² en acero galvanizado. De acuerdo con las normativas del año 2002, se permiten secciones más reducidas, como 25 mm² en cobre desnudo y secciones aún más pequeñas si el cable está protegido contra la corrosión con una cubierta, aunque la GUÍA-BT-18 recomienda 35 mm².

Los conductores de tierra deben cumplir con los mismos requisitos que los conductores de protección, como se describe más adelante en esta unidad, y su sección no debe ser menor que la sección mínima necesaria para los cables de protección. En el proceso de conectar los conductores de tierra a los electrodos de tierra, es esencial tomar medidas de precaución para asegurar su corrección eléctrica. Es crucial prestar especial atención para evitar daños tanto a los conductores como a los electrodos de tierra durante estas conexiones.

Existen dos sistemas de puesta a tierra, clasificados según su disposición:

2.12.1. Tipo A

Este sistema consta de electrodos dispuestos en posición horizontal o vertical en el entorno, los cuales están conectados a cada conductor de bajada. En la disposición tipo A, se necesitan al menos 2 electrodos, y es necesario distribuirlos de manera uniforme. La longitud mínima de cada electrodo de tierra se establece como:

- Los electrodos para L1 dispuestos horizontalmente.
- Para electrodos en posición vertical es 0.5 para L1 que representa longitud mínima en la figura 14.

En situaciones donde cumplir con estos requisitos no sea viable, se aconseja optar por la configuración de tipo B [34].

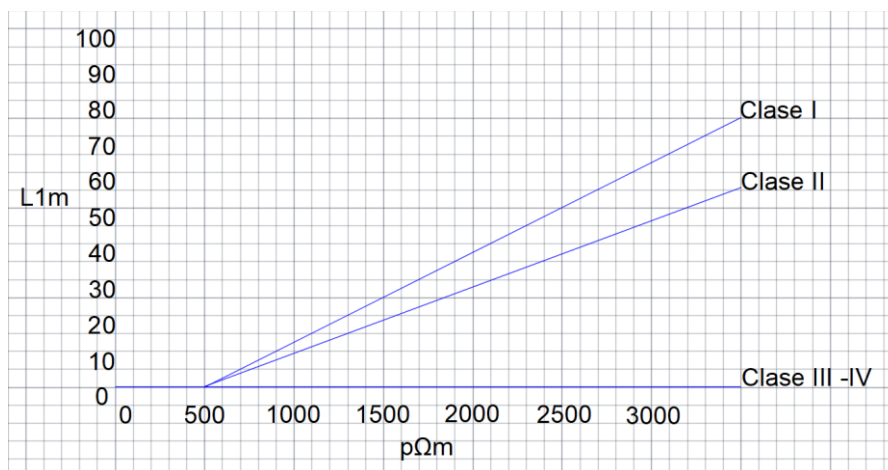


Figura 14. Longitud mínima L1 requerida según la categoría de SPCR.

Fuente:[34]

2.12.2. Tipo B

Este sistema implica un anillo conductor colocado externamente a la infraestructura que necesita protección, que mantiene relación con el terreno en como mínimo el 80% de su extensión. Se coloca a una profundidad de medio metro y separado por un metro de la estructura. Se aconseja que la cantidad de número de electrodos sea igual o mayor al número de conductores de bajada, con un mínimo de dos electrodos. Además, se recomienda conectar electrodos adicionales al anillo en los puntos de unión con las bajantes.

La disposición tipo B como se observa en la figura 15 se sugiere para terrenos rocosos y es preferible en estructuras con sistemas electrónicos o con un alto riesgo de incendios [34].

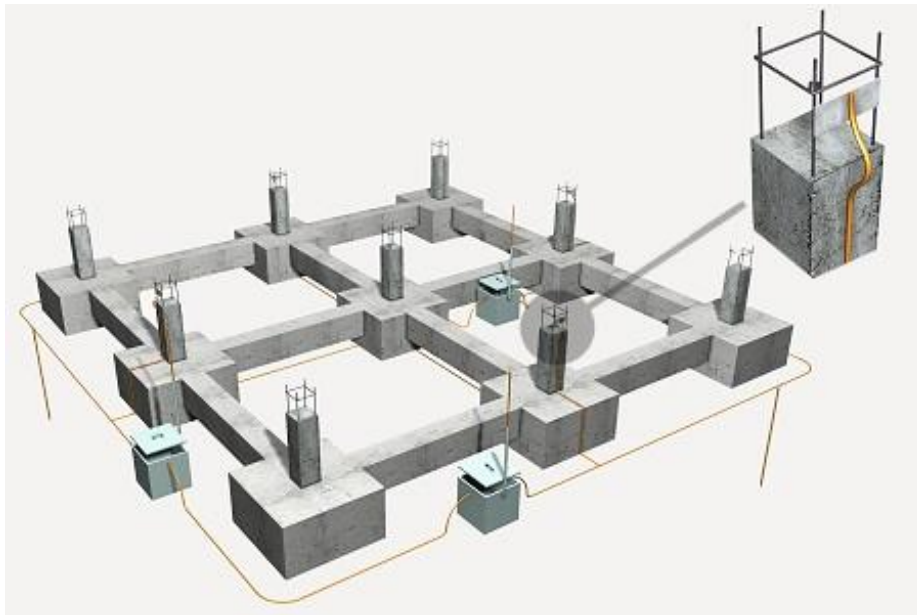


Figura 15. Representación de puesta tierra tipo B.

Fuente:[34]

2.13. Elementos que influyen la Resistividad en el Terreno

La resistividad del suelo, medida en ohmios por metro ($\Omega \cdot m$), está influenciada por varios factores que determinan la capacidad del suelo para conducir electricidad. Estos factores son críticos para el boceto eficaz de los SPT y la prevención de riesgos eléctricos [32]. Aquí hay algunos factores influyentes:

- **Naturaleza del suelo:** El tipo de suelo (arcilloso, arenoso o arcilloso) como se representa en la figura 16, tiene un efecto directo sobre la resistencia. Por ejemplo, los suelos arenosos son generalmente menos resistentes que los suelos arcillosos.
- **Humedad:** La cantidad de humedad contenida en el suelo tiene un impacto significativo en su durabilidad. Los suelos húmedos generalmente tienen baja resistividad porque el agua actúa como conductor eléctrico.
- **Salinidad:** la concentración de sales solubles en el suelo afecta a su resistividad. Los suelos con alta salinidad generalmente tienen poca resistencia.

- **Temperatura:** Los cambios de temperatura afectan la resistividad del suelo. Las temperaturas altas y secas o las bajas y frías pueden afectar el comportamiento eléctrico del suelo.
- **Estratigrafía del terreno:** la composición y disposición de las capas del subsuelo también juegan un papel importante en la durabilidad de los accidentes geográficos. Diferentes capas pueden tener diferentes resistencias.
- **Cambios estacionales:** Los cambios estacionales, como los cambios de humedad y temperatura, pueden afectar la resistencia del suelo durante todo el año.

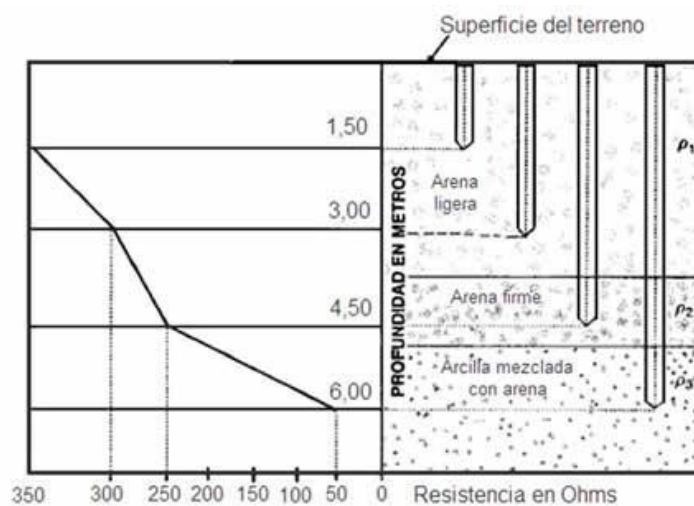


Figura 16. Representación de profundidad del terreno observa los materiales.

Fuente:[35]

2.14. Protección del Sistema de Puesta a Tierra

Un SPT establece un mecanismo de protección para proteger a los usuarios de la red eléctrica donde podemos visualizar en la figura 17 sobre las partes de instalación de un STP. Se trata de enterrar electrodos en suelo de baja resistividad y conectarlos a componentes metálicos en la infraestructura del edificio.

Este sistema se extiende por toda la unidad para crear conductos eléctricos que garantizan la continuidad y la capacidad de conducir la electricidad de forma segura. Este principio se

aplica directamente a tierra, es decir, al tercer conductor conectado a tierra. Este conductor está conectado al tercer terminal del enchufe, conocido como enchufe de polaridad.

La instalación de un SPT requiere una planificación exhaustiva y cuidadosa. La primera preocupación de un SPT es la tierra misma. El suelo está fabricado con un material con mucha mayor resistencia que el metal. Por lo tanto, cualquier corriente que pase por la tierra experimentará una caída de voltaje significativa en una distancia corta.

La función principal de la conexión a tierra es limitar el voltaje experimentado por un componente metálico en relación con la tierra en un momento dado. También tiene como objetivo garantizar la eficacia de los equipos de protección y reducir o eliminar los riesgos por defectos en los componentes eléctricos utilizados. El SPT es una parte importante de cualquier método eléctrico y sus principales finalidades son:

- Ajustar la tensión presente en la masa metálica a tierra.
- Garantizar la eficacia de los equipos de seguridad.
- Reduce o elimina los riesgos asociados a posibles fallos de componentes eléctricos.

Básicamente, existen dos modelos principales de protección de tierra para un correcto funcionamiento: protección contra sobretensiones transitorias (dirigida a la seguridad de los equipos) y protección diferencial de contacto indirecto (dirigida a la seguridad personal).

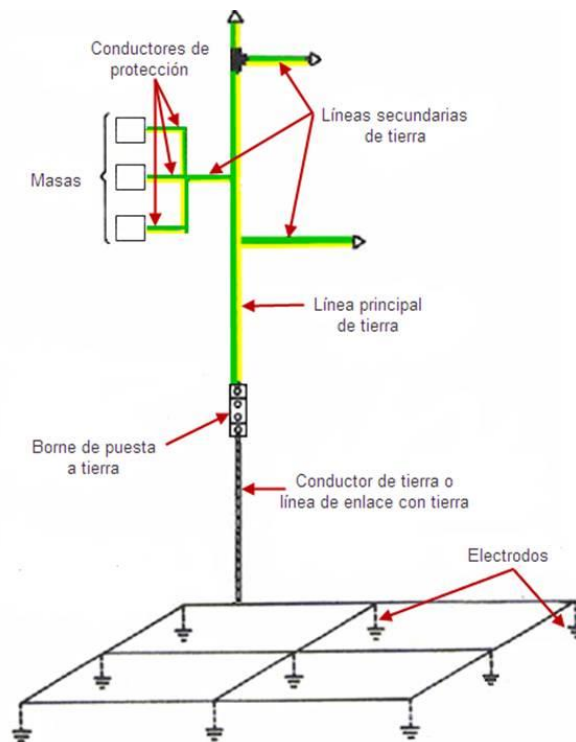


Figura 17. Representación del esquema de puesta a tierra.

Fuente:[36]

2.15. Modelo de Sistemas de Puesta a Tierra

Dependiendo de la implementación de esta medida, los SPT se pueden dividir en diferentes tipos, entre ellos:

2.15.1. Puesta a Tierra en Señales Electrónica

Están diseñados para limitar los altos voltajes que pueden ocurrir debido a descargas eléctrica como se presenta en la figura 18 o eventos relacionados con la inducción o contacto accidental con cables de alto voltaje. Este procedimiento se alcanza mediante el uso de conductores específicamente diseñados para asegurar que la totalidad de la corriente de fallo a tierra del sistema debe ser vista como una componente fundamental del sistema eléctrico vinculado a tierra.

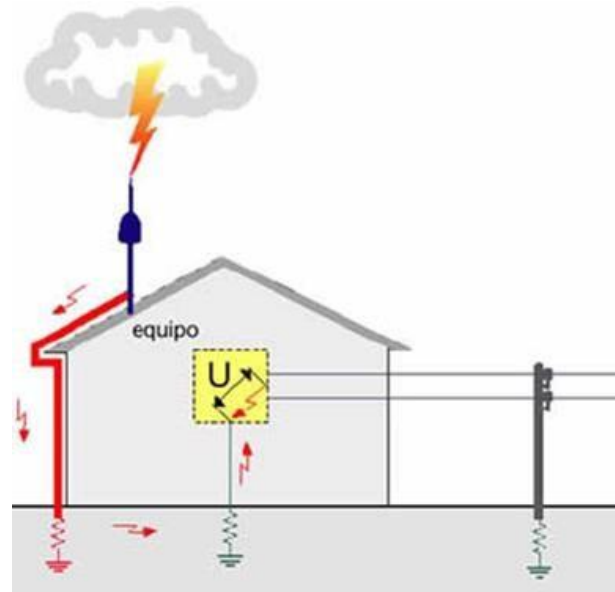


Figura 18. Representación Protección de puesta a tierra.

Fuente:[36]

2.15.2. Conexión a Tierra de los Dispositivos Eléctricos

El objetivo es neutralizar cualquier posibilidad de unión que se ponga en peligro tanto al dispositivo como al usuario. Este tipo de puesta a tierra asegura la activación de dispositivos de seguridad contra exceso de corriente en el equipo como se representa en la figura 19. Se utiliza para establecer la conexión a tierra de todos los componentes instalados que no están expuestos al voltaje en condiciones normales de funcionamiento, pero que pueden cambiar en la conexión a tierra debido a fallas accidentales del circuito.

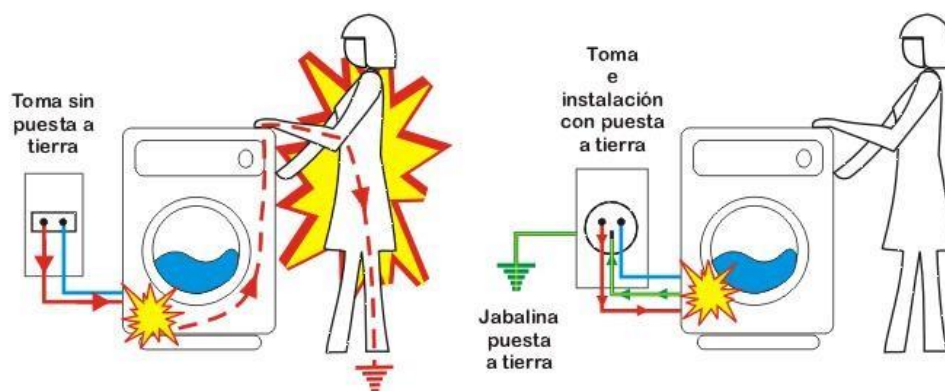


Figura 19. Representación sobre conexión de tierra en dispositivo eléctrico.

Fuente: [37]

2.15.3. Soldadura Exotérmica

Las conexiones son puntos vulnerables en los circuitos de tierra, especialmente cuando se exponen a altas corrientes y corrosión. Se han explorado varias soluciones para solucionar este problema de unión, la mejor de las cuales es la soldadura exotérmica como se muestra en la figura 20. Este método implica procedimientos químicos que crean fuertes enlaces moleculares entre metales. Se utiliza para unir elementos metálicos y es muy utilizado en ámbitos como ferrocarriles y sistemas eléctricos como puesta a tierra.

TOTAL TECHNOLOGY ofrece todos los elementos necesarios para la realización individual de la soldadura exotérmica, incluidos dispositivos de soldadura, encendido y cartuchos de soldadura exotérmica. La soldadura implica la creación de un enlace molecular entre dos o más conductores metálicos mediante un proceso químico. Este compuesto molecular mejora las propiedades mecánicas, eléctricas y de corrosión en comparación con otros compuestos mecánicos. La soldadura exotérmica es la mejor manera de crear uniones estables, confiables y altamente conductoras en cualquier instalación donde se requiera conexión a tierra [38].

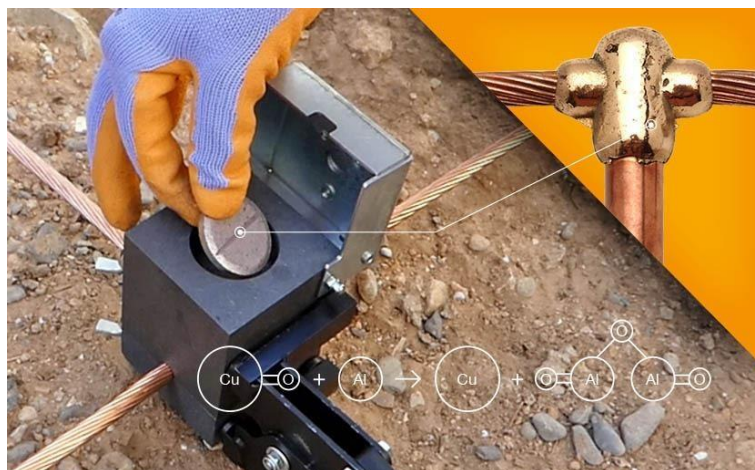


Figura 20. Representación de la colocación de soldadura exotérmica.

Fuente:[38]

2.16. Método de Medición de la Resistencia del Terreno

2.16.1. Regla del 62%

Es factible disminuir la cantidad de mediciones a llevar a cabo si:

- Se verifica un electrodo individual, excluyendo tanto mallas como placas extensas.
- Es factible situar e insertar la corriente en el electrodo a una distancia de al menos 30 metros de la pica en proceso de verificación.
- La topografía del terreno exhibe uniformidad.

En estas condiciones, es posible posicionar y situar la sonda de suministro de corriente se instala a una distancia que sea al menos igual a 30 metros del electrodo bajo evaluación, mientras que la sonda de referencia de tensión se posiciona al 62% de esa distancia tal como se observa en la figura 21.

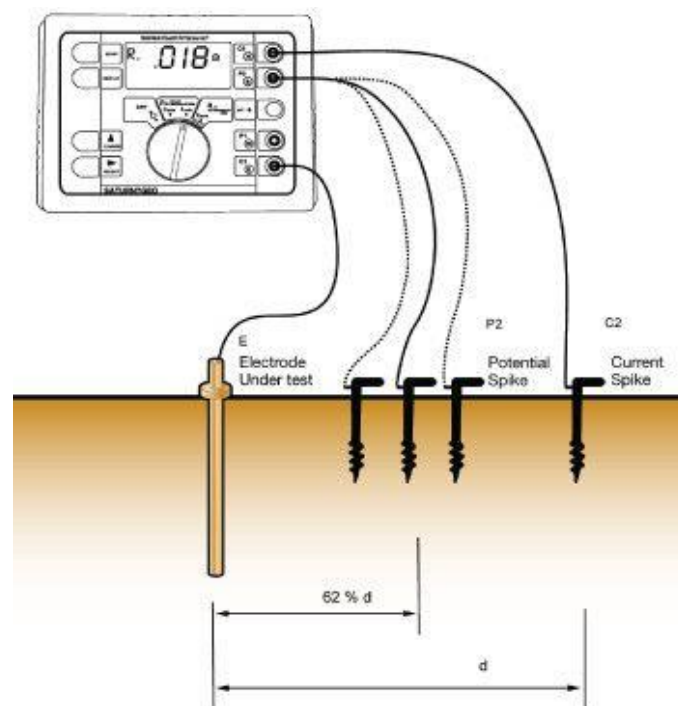


Figura 21. Representación de medición aplicando la regla del 62%.

Fuente:[39]

2.17. Método de Medición de la Resistividad del Terreno

Se realiza una medición como parte del proceso de confirmación, se efectúan dos mediciones adicionales: una con la sonda de referencia de tensión posicionada a 1 metro más cerca del electrodo en consideración y otra a 1 metro más alejada. En caso de encontrarse verdaderamente en la región plana de la curva, las lecturas deberían mostrar una similitud prácticamente exacta, permitiendo considerar la primera lectura como el valor registrado para la resistencia [39].

2.17.1. Método de Wenner

El procedimiento de Wenner constituye un sistema tetraelectrónico empleado para evaluar la resistividad del suelo mediante la disposición de electrodos colocados en línea recta. Estos electrodos están separados por una distancia "a", y se entierran a una profundidad que cumple con la condición $a > 20b$, donde "b" representa la profundidad de enterramiento. La figura 22 ilustra la disposición del método de Wenner utilizado en la medición de la resistividad del suelo [40].

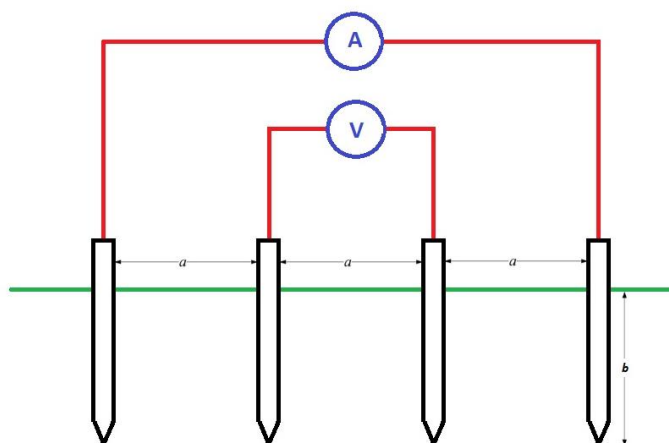


Figura 22. Representación del método de wenner.

Fuente:[40]

La configuración implica la disposición de cuatro electrodos alineados colocados en una disposición lineal, con una distancia uniforme entre ellos (a), y cada electrodo enterrado a una profundidad específica (b). En esta disposición, los electrodos en los extremos son

responsables de inyectar corriente en el suelo, mientras que los dos electrodos intermedios se utilizan para medir la diferencia de potencial.

Empleando un telurómetro, se establece una corriente (I) entre los dos electrodos externos (electrodos de corriente), y se registra la reducción de potencial (V) mediante la utilización de los dos electrodos internos (electrodos de potencial). El telurómetro realiza el cálculo de la relación V/I para obtener un valor de resistencia aparente (R) en ohmios.

La resistividad aparente (ρ_a), que se asocia con la resistividad medida a una profundidad aproximada (a), se determina considerando la resistencia proporcionada por el instrumento de medición a través de la ecuación (1) correspondiente.

$$\rho = 2 * \pi * a * R \quad (1)$$

ρ : Resistencia media de fondo (a) medida en ohmios-metro.

a: Espacio entre los electrodos medida en metros.

R: Resistencia aparente del suelo.

El proceso esto sugiere si "R" representa la resistencia percibida en ohmios para una distancia "a" medida mencionada en metros, la resistividad efectiva del suelo se determina mediante la siguiente ecuación (2):

$$\rho = \frac{4 * \pi * a * r}{1 + \frac{2 * a}{\sqrt{a^2 + (4 * b^2)}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (2)$$

ρ : Resistividad media de fondo (a), expresada en ohmios por metro.

a: Distancia entre electrodos en metros.

b: Profundidad de electrodos, medida en metros.

R: Resistencia aparente en Ω .

Sin embargo, es importante señalar que si la distancia B (profundidad de enterramiento de los electrodos) es 20 veces menor que la distancia A, que es la separación entre cada

electrodo, determinará la aplicación de la siguiente fórmula simplificada si A es mayor que 20 veces B.

2.18. Técnicas para Disminuir la Resistencia del Suelo

Un diseño efectivo del SPT comienza con la evaluación de la resistividad del suelo para entender sus características. Sin embargo, si se obtiene un valor muy elevado, se considera la opción de mejorar el terreno para reducir la resistencia de puesta a tierra.

Posteriormente, al construir el sistema y realizar la medición de resistencia, es común encontrar valores altos que necesitan corrección para garantizar el funcionamiento adecuado de la instalación. En la actualidad, se disponen de técnicas para elevar los niveles de resistencia en el SPT, asegurando así la seguridad tanto para las personas como para los equipos en una instalación eléctrica específica.

2.18.1. Incremento en la Cantidad de Electroodos

Cuando se enfrenta una alta resistencia, una estrategia altamente eficaz para disminuir la resistencia total consiste en incorporar múltiples electrodos en paralelo. Es importante evitar colocarlos muy cerca entre sí, ya que cada electrodo influye en la resistencia del circuito debido a los efectos mutuos.

La resistencia experimenta reducciones proporcionales a medida que se añade cada varilla adicional con la misma resistencia individual. En el caso de varios electrodos, es necesario que estén separados al menos por 1.8 m y conectados entre sí [41].

2.18.2. Incremento en la Profundidad del Electrodo

Una opción para reducir la resistencia de puesta a tierra implica enterrar los electrodos a una mayor profundidad, lo cual requiere incrementar su longitud. Este método resulta beneficioso en terrenos con resistividad variable debido a diferentes capas, y es esencial considerar esta variabilidad para asegurar que el electrodo no se vea afectado. En este proceso, el aumento de la longitud del electrodo puede contribuir a la disminución de su resistencia.

Además, se debe evaluar si las capas más profundas presentan mejores propiedades eléctricas o si la zona está compuesta por roca, granito, etc., donde no sea necesario utilizar un electrodo más largo, sino explorar otras alternativas para reducir la resistencia de puesta a tierra [42].

2.18.3. Manipulación Química del Suelo

Una forma eficaz de reducir la resistividad del terreno y, en consecuencia, elevar la resistencia de un SPT es mediante la incorporación de componentes químicos en el suelo. Este proceso puede disminuir la resistencia de la tierra entre un 25% y un 80% en comparación con su valor sin tratamiento. Existen diversos tipos de tratamientos químicos que se aplican al terreno con el objetivo de reducir la resistencia, siendo el gel uno de los componentes más utilizados.

El gel, una sustancia gelatinosa, desempeña un papel clave al conservar la humedad y permitir la disipación de electrones debido a su capacidad como buen conductor. Sus propiedades humectantes, o atracción por el agua, le permiten retener moléculas de agua superficial, convirtiéndolo en una suerte de depósito acuífero. Al llenar los espacios vacíos en el suelo, así garantizar una conexión eléctrica eficaz entre el suelo y el electrodo, manteniendo una conductividad constante. Podemos verificar los porcentajes de reducción en la Tabla 1 [43].

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

Tabla 1. Porcentaje de reducción por aplicación de gel.

Fuente: Los Autores

2.19. Razonamiento de Tensión Tolerable

La posibilidad de que las personas estén expuestas a corriente eléctrica representa un riesgo constante en nuestra cotidianidad. En la sociedad moderna, la electricidad se convierte en un

peligro constante y omnipresente, a pesar de ser incorpóreo en la mayoría de las diligencias humanas.

La amplia utilización y la comodidad común con ella a menudo nos llevan a actuar como si no representara ningún peligro. Nos descuidamos del hecho de que la corriente eléctrica siempre conlleva un cierto riesgo que no debemos pasar por alto en ningún momento.

Por lo tanto, las personas que se dedican a trabajos o tareas de mantenimiento y operación de sistemas eléctricos suelen enfrentar el riesgo común de entrar accidentalmente en contacto con partes metálicas energizadas. Es esencial tomar precauciones adecuadas y mantener una conciencia constante de los peligros asociados con la electricidad para evitar situaciones peligrosas.

2.19.1. Tensión de Paso

Las tensiones de paso como se observa en la figura 23, surgen cuando hay dos puntos de contacto con el suelo, y cada uno de ellos tiene un potencial eléctrico diferente. La disparidad de potencial provoca que parte de la corriente fluya a través del objeto en cuestión, ya sea una persona o un animal. Esta variación de potencial puede ser significativamente alta en distancias cortas, especialmente cuando la corriente del rayo se disemina en el suelo.

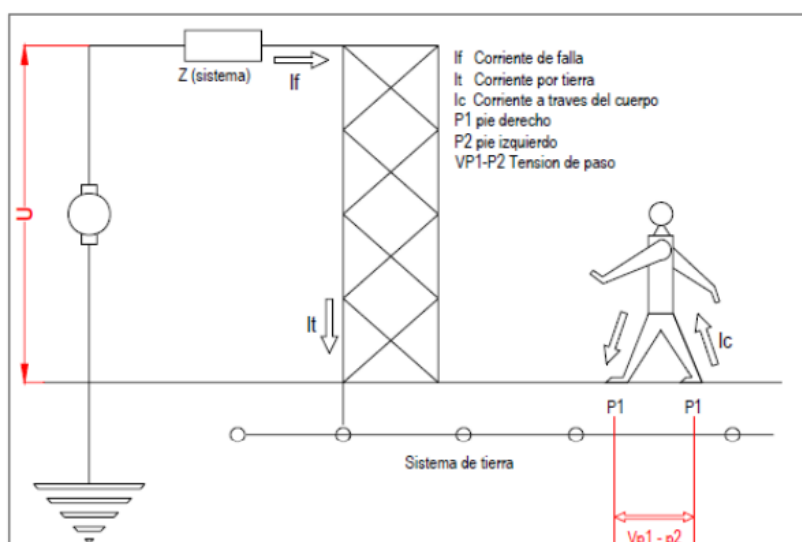


Figura 23. Representación de tensión de paso.

Fuente:[44]

Cuando un rayo golpea el suelo, la corriente eléctrica se distribuye en diversas direcciones. La proximidad a un punto de impacto puede generar una diferencia de potencial sustancial en distancias muy cortas. Este fenómeno plantea un riesgo significativo para las personas y los animales que podrían estar en el área afectada. La comprensión de las tensiones de paso es crucial para implementar medidas de seguridad adecuadas y minimizar el riesgo de accidentes eléctricos en entornos propensos a las descargas atmosféricas.

2.19.2. Tensión de Toque

La tensión de toque se representa en la figura 24, se puede describir La diferencia más alta de voltaje entre el lugar donde los pies de una persona tocan el suelo cerca de una subestación y donde una o ambas manos hacen contacto con una estructura metálica durante un incidente de fallo de fase a tierra.

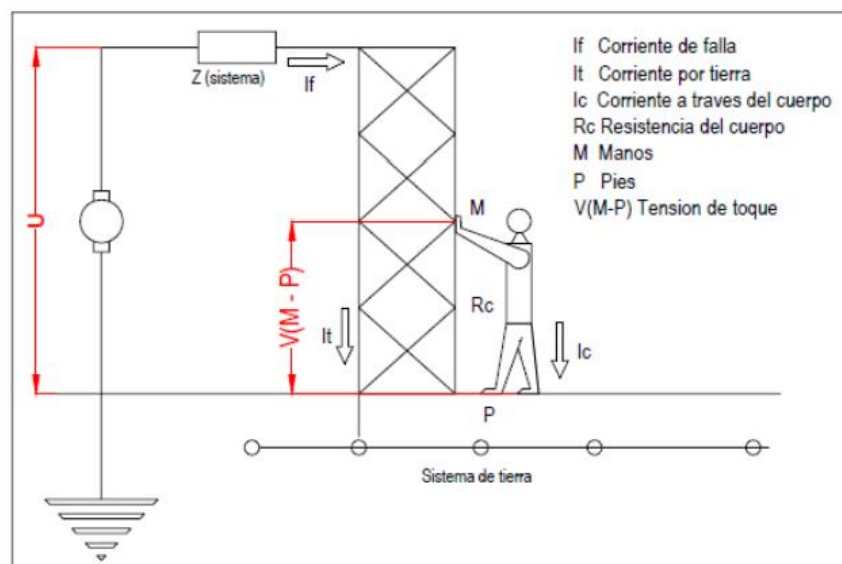


Figura 24. Representación de la tensión de toque.

Fuente:[44]

Es esencial tener en cuenta las precauciones necesarias y emplear medidas de protección adecuadas para reducir el riesgo de exposición a tensiones de toque en entornos donde se producen fallas de fase a tierra, garantizando así la seguridad de quienes trabajan en estas áreas.

2.19.3. Límites Permitidos de las Tensiones de Paso y Toque

La protección de una persona implica evitar que reciba una descarga eléctrica peligrosa antes de que se resuelva la falla. La tensión máxima tolerada en cualquier circuito no deseado no debe exceder los límites establecidos en las ecuaciones (3), (4), (5) y (6), que se detallan a continuación. Es crucial adherirse a estos límites para garantizar la protección adecuada contra los riesgos asociados con la corriente eléctrica.

Tensión de paso:

$$E_{\text{paso}50\text{kg}} = (1000 + 6C_s * \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (3)$$

$$E_{\text{paso}70\text{kg}} = (1000 + 6C_s * \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (4)$$

Tensión de toque

$$E_{\text{toque}50\text{kg}} = (1000 + 1.5C_s * \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (5)$$

$$E_{\text{toque}70\text{kg}} = (1000 + 1.5C_s * \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (6)$$

Hallada en forma empírica para el valor de C_s , representa en la ecuación (7):

$$C_s = 1 - \frac{0.09(1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s + 0.09} \quad (7)$$

2.19.4. Tensiones de Paso y Toque Valores Reales

De acuerdo con las directrices establecidas en la normativa IEEE 80-2013, los niveles de voltaje de paso se determinan considerando diversos factores, como el aspecto geométrico, la resistividad del terreno, el factor correctivo y la corriente promedio por cada longitud

unitaria del conductor enterrado del SPT. La ecuación (8) para calcular la tensión de contacto se expresa de la siguiente manera:

$$E_s = \frac{\rho * k_s * k_i * I_G}{L_s} \quad (8)$$

Donde:

E_s = Tensión real de paso [V].

ρ = Resistividad del terreno bajo el material [Ω *m].

k_s = Componente de espaciado para tensión de paso.

k_i = Componente de ajuste para la forma geométrica del sistema.

I_G = Corriente máxima de la red [A].

L_s = Longitud real del conductor del SPT [m].

Para redes de tierra, ya sea con o sin barras. de puesta a tierra, la longitud real, L_s , enterrada se determina mediante la siguiente ecuación (9), que considera varios parámetros adicionales para garantizar una adecuada disipación de corriente y protección contra descargas eléctricas.

$$L_s = 0.75 * L_c + 0.85 * L_R \quad (9)$$

Adonde:

L_c = Extensión total del conductor en SPT [m].

L_R = Longitud general de todas las varillas [m].

Los niveles de tensión de toque se derivan de una combinación de factores como Las características geométricas, el factor de ajuste, la resistividad del terreno y la corriente, por cada longitud unitaria del conductor enterrado en el SPT. Esta tensión de toque se calcula utilizando la ecuación siguiente (10), que tiene en cuenta una serie de variables para determinar de manera precisa el nivel de tensión experimentado.

$$E_m = \frac{\rho * k_m * k_i * I_G}{L_m} \quad (10)$$

E_s = Tensión real de toque [V].

k_m = Elemento de espaciado para tensión de toque.

k_i = Factor de ajuste para la forma geométrica del SPT.

I_G = Corriente máxima de la red [A].

L_m = Longitud real del conductor del SPT para tensión de toque [m].

La longitud enterrada efectiva en mallas que cuentan con varillas de puesta a tierra en los rincones, así como a lo largo de sus bordes y en toda su longitud, se determina mediante un cálculo de la siguiente ecuación (11), que considera la disposición de estas varillas para garantizar una adecuada dispersión de la corriente eléctrica y una eficiente protección contra posibles descargas. Este enfoque de diseño contribuye significativamente a la seguridad y eficacia del sistema de puesta a tierra.

$$L_m = L_c + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] * L_R \quad (11)$$

Donde:

L_r = Longitud de cada varilla [m].

L_x = Longitud máxima de conductor del SPT en trayectoria x [m].

L_y = Longitud máxima de conductor del SPT en trayectoria y [m].

2.19.5. Especificación de los Factores k_s , k_m , k_i , n

Para calcular el factor de espaciado para tensión de paso utilizaremos la siguiente ecuación (12) y explicaremos cada definición de la ecuación:

$$k_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} * (1 - 0.5^{n-2}) \right] \quad (12)$$

Donde:

h = Profundidad que se encuentra enterrada el SPT [m].

D = Espacio entre conductor paralelo [m].

n = Numero efectivo paralelos de los conductores del SPT.

d = Diámetro del conductor del SPT [m].

Para calcular el factor de corrección para la geometría del sistema de puesta a tierra, emplearemos la ecuación (13) que detallaremos a continuación, ofreciendo una explicación de los términos involucrados en la ecuación y su significado en el contexto del cálculo del factor de corrección.

$$K_i = 0.644 + 0.148 * n \quad (13)$$

Este análisis proporcionará una comprensión más profunda de cómo se ajusta el factor de corrección según la geometría específica del sistema de puesta a tierra, lo que contribuirá a una evaluación más precisa de su eficacia y rendimiento.

Para calcular el factor de espaciado para tensión de toque emplearemos la siguiente ecuación (14), donde explicaremos cada definición de la fórmula.

$$k_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left[\frac{D^2}{16 * h * d} + \frac{(D + 2 * h)^2}{8 * D * d} - \frac{h}{4 * d} \right] + \frac{k_{ii}}{k_h} \ln \left[\frac{8}{\pi * (2 * n - 1)} \right] \right] \quad (14)$$

Donde:

k_{ii} = Factor de ajuste correctivo se emplea para considerar los efectos de los conductores internos y modificar su influencia en el resultado.

k_h = Factor de ponderación correctivo se centra en los impactos asociados con la profundidad de la malla, ajustando su influencia en el resultado final.

Para nuestro caso el factor correctivo de ponderación aplica a mallas que tienen barras de conexión a tierra a lo largo de su contorno, en sus esquinas, o en ambas ubicaciones simultáneamente donde $k_{ii} = 1$.

Para el factor de ponderación correctivo utilizaremos la siguiente ecuación (15):

$$k_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad (15)$$

h_0 = 1m profundidad de referencia del SPT.

Para el número efectivo paralelos de los conductores del SPT emplearemos la siguiente ecuación (16).

$$n = n_a * n_b * n_c * n_d \quad (16)$$

Adonde:

$$n_a = \frac{2 * L_c}{L_p}$$

n_b = Es uno para puesta a tierra cuadradas.

n_c = Es uno para puesta a tierra rectangulares y cuadradas.

n_d = 1 para puesta a tierra rectangulares, cuadradas y en representación de “L”.

2.20. Software a Utilizar

2.20.1. ETAP

ETAP software de ingeniería eléctrica hacia sistemas de energía y se destaca como la herramienta más completa para planificar, modelar, estudiar y guiar el funcionamiento de sistemas eléctricos en industrias como la generación, distribución e industria eléctrica. Este completo programa ETAP se evidencia en la figura 25 que incluye una serie de módulos totalmente integrados que cubren áreas como carga eléctrica, coordinación y selección de sistemas de protección y cortocircuitos, dimensionamiento de conductores, estabilidad transitoria, análisis de arcos y flujo de energía óptimo.



Figura 25. Representación de software ETAP.

Fuente:[45]

La flexibilidad de la estructura modular de ETAP permite adaptarse a las necesidades específicas de cada empresa, ya sean sistemas energéticos de pequeña o gran escala. ETAP se adapta a tus necesidades. La cantidad de dimensiones puede oscilar desde 50 hasta un número infinito. Comprar el software es fácil porque solo necesita comprar los módulos que necesita inicialmente y, si necesita módulos adicionales más adelante, se pueden agregar fácilmente mediante un simple código electrónico [45].

2.21. Equipo a Utilizar

2.21.1. Telurómetro Megger DET4TC2

Este equipo mostrado en la figura 26, cumple con todos sus requisitos, brindando una solución integral para realizar pruebas de resistencia del terreno y evaluar la resistencia de los cables de tierra instalados. Este dispositivo le permite realizar mediciones de malla planificadas (pruebas de resistencia) midiendo con el método Schlumberger o Wenner.

También cuenta con una función que permite evaluar la resistencia del cable de conexión a tierra instalado, utilizando la técnica de medición de caída de potencial o medición directa del 62%. Si el terreno no permite enterrar los pilotes, el equipo ofrece la posibilidad de realizar pruebas en una red instalada utilizando pinzas amperimétricas y pinzas de tensión especiales. Esto aumenta la versatilidad del equipo, permite la adaptación a diferentes condiciones del terreno y facilita las pruebas efectivas de los sistemas de puesta a tierra [46].



Figura 26. Telurómetro Megger DET4TC2.

Fuente:[46]

Componentes adicionales del equipo.

- Equipo medidor de resistencia a tierra Megger DET4TC2
- Pinza de corriente Megger ICLAMP y pinza de voltaje Megger VCLAMP.
- Cuatro (4) estacas de acero inoxidable de 30 centímetros de longitud.
- Bolsa de transporte.

2.22. Programas de Mantenimiento

El mantenimiento del SPT se evidencia en la figura 27 implica realizar una serie de tareas o procedimientos para mantener o restaurar el sistema a condiciones que aseguren la máxima confiabilidad. Como parte de este proceso, es importante medir periódicamente la conexión a tierra para garantizar que se cumplan las condiciones de boceto. En la cual se recomienda que estas mediciones se realicen anualmente.

Además de las mediciones, son fundamentales las inspecciones de laboratorio, seguidas de excavaciones para evaluar el estado físico de la guía de rejilla en varios puntos. La importancia de un SPT es fundamental para registrar con precisión las posiciones y conexiones de los elementos manteniendo un plano continuamente actualizado.

Si las condiciones de soporte lo permiten, medir la tensión de contacto y la continuidad que pueda haber en la superficie de conexión a tierra. Estas medidas adicionales ayudan a garantizar la integridad y eficiencia del sistema, detectar problemas potenciales de manera temprana y acelerar las acciones correctivas.

El plan de mantenimiento debe incluir ciclos específicos de toma de medidas y analizar los datos obtenidos para contrastarlos con los criterios de diseño del proyecto y las regulaciones aplicables. Es importante que los dispositivos utilizados para estas mediciones que cuenten con certificación y que la empresa cuente con los recursos adecuados para realizar el trabajo. La certificación de las herramientas garantiza la exactitud y veracidad de los resultados, y la posesión de recursos suficientes asegura la realización eficaz de las medidas de mantenimiento, contribuyendo al óptimo funcionamiento y protección del sistema de puesta a tierra.

Las evaluaciones realizadas como parte de la auditoría incluyen pruebas:

- Homogeneidad de potencial
- Evaluación de la resistencia de conexión a tierra.
- Evaluación de corrientes indeseadas o de modo frecuente.



Figura 27. Representación Punto de puesta a tierra.

Fuente:[45]

2.23. Norma y Parámetros Establecidos

El marco teórico y la evaluación realizada se basan en IEEE STD 80-2013. Se consideran los siguientes criterios al decidir el diseño de una red:

- Según IEEE STD 142-1991, la resistencia de tierra máxima recomendada para una subestación de 69 KV/13,8 KV es de 1 a 5 ohmios.
- Se recomienda utilizar un conductor de tamaño 2/0 AWG.
- La rejilla se encuentra a una profundidad de 0.5 metros.
- Tensión permitida: Los datos se determinan según IEEE STD 80-2000.
- La separación de varilla a varilla no debe ser menor a 3 metros.
- Clases de conexiones: Maquinado y soldado utilizando varillas de plata en los extremos del conector, para evitar la penetración de humedad.

El método para seguir en el diseño de la malla implica:

- Editar información del terreno.
- Evaluación de la corriente de cortocircuito.
- Estimación del tiempo de inactividad.
- Determinación de factores relevantes para el diseño de la red y factores de regulación de perturbaciones del flujo terrestre.
- Determinación del diámetro del conductor.
- Evaluación por elongación de la carcasa.
- Estimación de impedancia de red.
- Determinación de tensiones en tejidos, aberturas y contactos.

CAPITULO III

3. Evaluación Actual del Estado del Sistema de Puesta a Tierra

En esta sección, se lleva a cabo una observación detallada del sistema de conexión a tierra existente mediante la cuidadosa inspección visual de los componentes instalados y sus conexiones correspondientes.

Además, se lleva a cabo la meticulosa medición de la resistencia de las tierras ya presentes en el sistema. El propósito es determinar con precisión el estado actual de la conexión a tierra del edificio. Este análisis detallado resulta fundamental para contemplar de manera integral esta condición específica, permitiendo así la planificación y reconfiguración del SPT conforme a las directrices determinadas en la norma IEEE Std 80-2013.

El SPT actual muestra evidencia de deterioro, como se aprecia en la figura 28, donde se observa la presencia de corrosión en el cable desnudo de cobre. Este deterioro se atribuye a condiciones ambientales adversas o a la falta de mantenimiento adecuado.



Figura 28. Sistema de puesta a tierra existente.

Fuente: Los autores

3.1. Método para Evaluar el Estado del Sistema de Conexión a Tierra

En el contexto de esta investigación, se implementa un método especializado para la evaluación exhaustiva del estado del sistema de conexión a tierra. Este método se ha diseñado considerando las particularidades del entorno estudiado, abarcando desde la identificación precisa de los componentes del sistema hasta la medición detallada de la resistencia de las tierras existentes.

Al utilizar este enfoque, se busca obtener un diagnóstico integral que permita comprender a fondo la eficacia y la distribución de la conexión a tierra, estableciendo así una base sólida para cualquier ajuste o mejora necesarios.

El diagrama presentado en la Figura 29 detalla las consideraciones fundamentales que deben ser consideradas durante el diagnóstico del sistema de puesta a tierra. El propósito es lograr una comprensión más profunda del estado actual y la distribución de los sistemas de tierra existentes.



Figura 29. Representación gráfica del diagnóstico del sistema de conexión a tierra actual.

Fuente: Los autores

Este enfoque visual permite analizar de manera exhaustiva las distintas variables involucradas, contribuyendo así a una evaluación más completa y precisa del sistema de conexión a tierra.

3.2. Aspectos Éticos y de Seguridad

Durante todo el proceso de investigación, se aplican principios éticos y se prioriza la seguridad en todas las actividades. Se obtiene el consentimiento informado de los propietarios o responsables de las edificaciones antes de realizar cualquier inspección. Además, se toman precauciones para garantizar la confidencialidad de la información recopilada y se sigue un protocolo de seguridad para evitar riesgos durante las mediciones y evaluaciones en campo.

En el ámbito operativo, se sigue rigurosamente un protocolo de seguridad durante las mediciones y evaluaciones en el campo. Esto implica identificar y gestionar posibles riesgos, proporcionar equipos de protección adecuados, y adherirse a estándares y regulaciones de seguridad industrial. La priorización de la seguridad no solo salvaguarda al personal involucrado en la investigación, sino que también contribuye a la calidad y fiabilidad de los resultados obtenidos.

3.3. Revisión de Planos Eléctricos del Sistema de Puesta a Tierra Existente

Examinar detalladamente los planos eléctricos y de PT de la edificación es fundamental para comprender la configuración y diseño del SPT. Este proceso implica una revisión minuciosa de la documentación técnica que describe la disposición de los elementos eléctricos y la estructura del SPT.

En el plano eléctrico de la figura 30 se observa el SPT que se encuentra en un pozo eléctrico donde protege el área del segundo piso de bloque E el laboratorio de alta tensión.

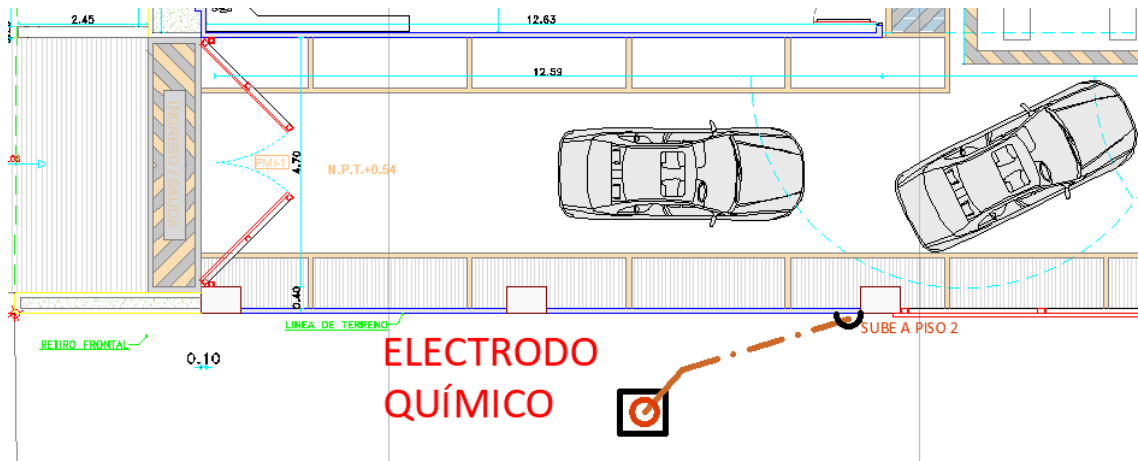


Figura 30. Plano eléctrico del sistema de puesta a tierra existente.

Fuente: Universidad Politécnica Salesiana

En la ubicación de la Figura 31 se presenta el plano eléctrico detallado del SPT que abarca la zona exterior del edificio situado en la sección de jardinería, específicamente resguardando el cuarto de transformadores. Este plano ofrece una representación gráfica precisa de la disposición de los componentes del sistema, incluyendo la ubicación estratégica de los terminales de puesta a tierra y conexión de la estructura del edificio.

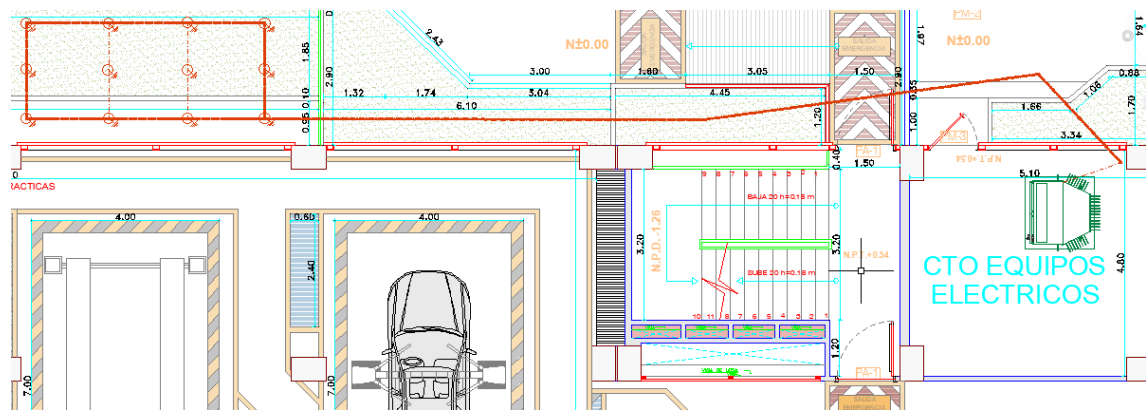


Figura 31. Plano eléctrico del sistema de puesta a tierra existente bloque E.

Fuente: Universidad Politécnica Salesiana

Al realizar esta revisión, se busca obtener una visión integral de la infraestructura eléctrica, identificando la ubicación de los electrodos de conexión a tierra, los conductores y cualquier componente relacionado. La comprensión de cómo se ha diseñado el sistema de puesta a tierra es esencial para evaluar su eficacia y realizar cualquier ajuste necesario conforme a las normativas y mejores prácticas actuales.

3.4. Identificación e Ubicación del Sistema de Puesta a Tierra Existente

Este proyecto se enfocará exclusivamente en la edificación universitaria Bloque E de la institución: “UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL” en esa zona con coordenadas: -2.220129,-79.886682, tal como se indica en la figura 32.

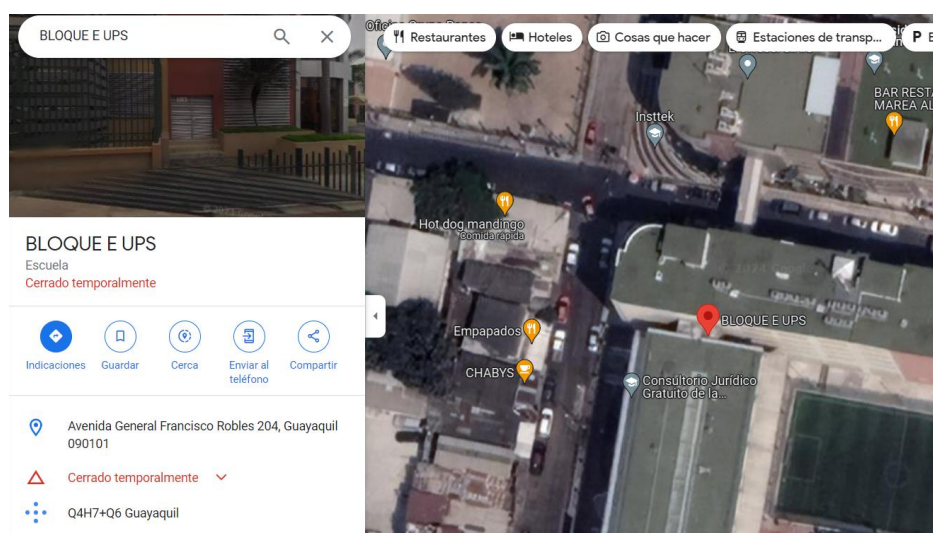


Figura 32. Ubicación estratégica donde se realizar la evaluación.

Fuente:[47]

La evaluación de la eficacia se llevará a cabo en los sistemas de puesta a tierra localizados en la parte exterior del bloque E. El primer sistema está situado entre el bloque E y el bloque F, dentro de un pozo eléctrico mostrado en la figura 34 donde en el sistema se ha colocado electrodos químicos.



Figura 33. Ubicación de primer SPT existente.

Fuente: Los autores

El segundo SPT se encuentra situado en la zona de jardinería, tal como se observa en la figura 34. Este sistema radica en una malla rectangular conectada a un transformador de 750 kVA, el cual proporciona alimentación eléctrica a todo el edificio E. Esta disposición garantiza una conexión eficiente a tierra, fundamental para la seguridad y el correcto funcionamiento del sistema eléctrico del edificio.



Figura 34. Ubicación del segundo sistema de puesta existente.

Fuente: Los autores

Se ha elaborado un diseño detallado para la estructura del SPT, visible en la figura 35 adjunta. Esta estructura se encuentra conectada al transformador mencionado anteriormente, asegurando así una conexión eficaz con el suelo para la dispersión segura de corrientes eléctricas no deseadas. Además, se han implementado medidas adicionales para garantizar la integridad y la eficiencia del sistema, lo que incluye el uso de materiales específicos y la consideración de la ubicación geográfica y las condiciones del suelo para optimizar su rendimiento. Este enfoque integral en el diseño del SPT es fundamental para respaldar la seguridad y el funcionamiento adecuado de las instalaciones eléctricas del edificio.

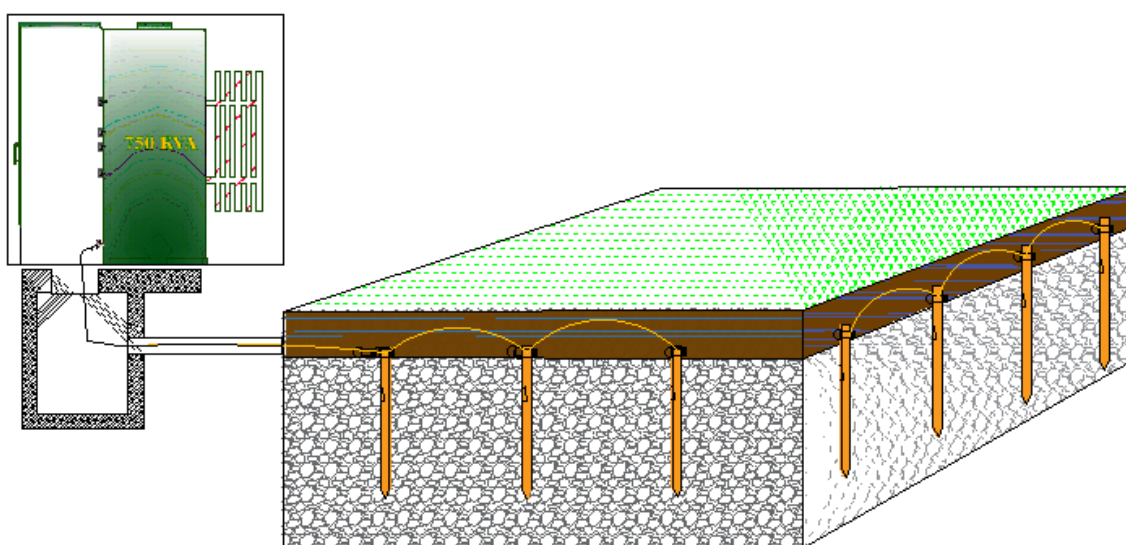


Figura 35. Diseño de sistema puesta a tierra existente.

Fuente: Los autores

3.5. Información sobre el Medidor de Resistencia de Puesta a Tierra

El dispositivo especializado a utilizar es el telurómetro que se indica en la figura 36, el cual es un instrumento certificado marca MEGGER, modelo DET4TC2. Este instrumento es esencial en aplicaciones relacionadas con sistemas de puesta a tierra, ya que proporciona información crucial sobre la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica.



Figura 36. Medidor de resistencia Telurómetro Megger.

Fuente: Los autores

El DET4TC2 de Megger destaca por su diseño compacto y portátil, lo que facilita su uso en el campo durante inspecciones y evaluaciones de sistemas de puesta a tierra. Este telurómetro utiliza la técnica de cuatro terminales para garantizar mediciones precisas y minimizar la influencia de las corrientes parásitas.

Entre sus características clave se incluyen múltiples rangos de medición, lo que permite adaptarse a diversas condiciones del suelo, y la capacidad de realizar mediciones en terrenos con alta resistividad. Además, el dispositivo cuenta con funciones avanzadas, como la medición de resistencia de electrodos y la visualización directa de la resistividad del terreno en la pantalla.

3.5.1. Configuración a Utilizar para el Equipo de Medición

En el proceso de determinación de los datos de la evaluación de la resistencia de PT de los sistemas existentes, se adopta la técnica del 62%. Este método implica una serie de pasos detallados que se encuentran explicados en la Figura 37, proporcionando una guía precisa para llevar a cabo la medición de manera efectiva.

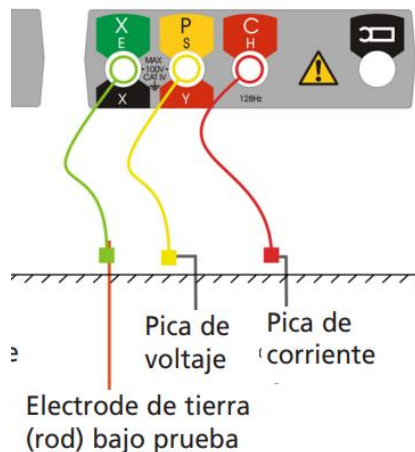


Figura 37. Representación del método 62% en telurómetro.

Fuente:[48]

El método del 62% se basa en considerar el 62% del valor inicial de la resistencia y determinar el porcentaje restante para alcanzar el equilibrio deseado. Este enfoque permite ajustar y optimizar la resistencia del sistema de conexión a tierra conforme a las regulaciones y estándares pertinentes, como la norma IEEE Std 80-2013.

La Figura 30 presenta un conjunto de instrucciones paso a paso, detallando el proceso para aplicar el método del 62%. Estos pasos incluyen la identificación de los puntos estratégicos para las mediciones, la utilización de instrumentos de medición precisos y la interpretación de los resultados obtenidos. Este enfoque sistemático asegura la consistencia y fiabilidad de los valores de resistencia de puesta a tierra obtenidos, contribuyendo así a una evaluación precisa y ajuste eficiente de los sistemas existentes.

3.5.2. Medición de Resistencia del Sistema Puesta a Tierra Existentes

Primera medición

Se llevará a cabo la primera medición del sistema de puesta a tierra, ubicado en la periferia del centro universitario. Este sistema se encuentra específicamente en el pozo eléctrico entre los edificios bloque E y bloque F, como se ilustra en la figura 38. Este procedimiento se enmarca en la evaluación de la eficacia de la conexión a tierra en la infraestructura del campus.

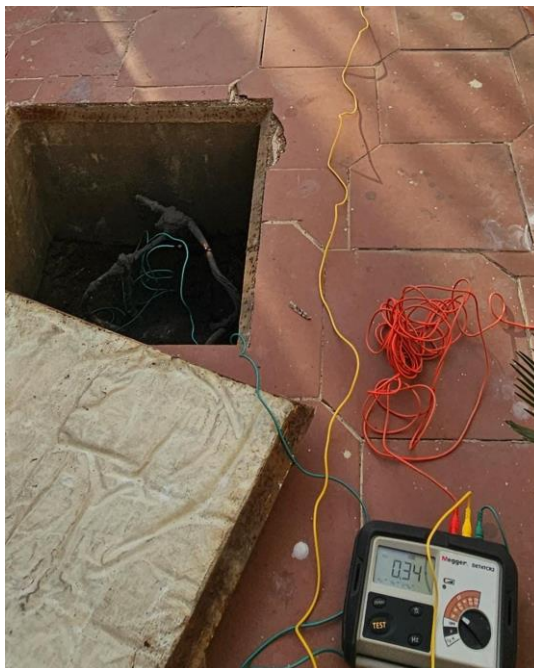


Figura 38. Medición de sistema de puesta tierra utilizando un electrodo.

Fuente: Los autores

Es crucial señalar que la medición inicial busca proporcionar una comprensión detallada del estado actual de la puesta a tierra en esta ubicación específica. Este análisis no solo incluirá la evaluación de la resistencia del sistema, sino también la detección de posibles problemas como corrosión u otras condiciones que puedan afectar su rendimiento.

Es importante destacar que este proceso se realizará el cumplimiento de los estándares más elevados de seguridad y ética. Estamos comprometidos con la obtención de datos precisos y fiables para optimizar la eficiencia y seguridad de la puesta a tierra en estas instalaciones.

Segunda medición

Se procederá con la segunda medición del sistema de puesta a tierra, ubicado en la zona exterior del centro universitario. Este sistema específico está localizado en la parte destinada a jardinería, dentro del edificio bloque E, según se indica en la figura 39.

Donde se tomó la medida conectando el sistema de tierra que se encontraba en el cuarto de transformadores, este seguimiento forma parte de la evaluación continua de la eficacia de la conexión a tierra en las instalaciones del campus.

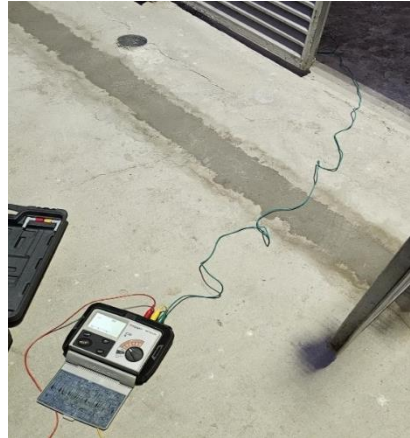


Figura 39. Medición de sistema de puesta a tierra existente.

Fuente: Los autores

Cabe resaltar que esta medición adicional busca ahondar en la comprensión del estado actual de la puesta a tierra en esta ubicación particular. La evaluación abarcará aspectos como la resistencia del sistema y la identificación de posibles desafíos, como la presencia de corrosión u otras condiciones que podrían afectar su rendimiento.

3.6. Medición de la Resistividad del Terreno

Un componente crucial de la metodología es la medición precisa de la resistividad del terreno, que desempeña un papel determinante en la efectividad del SPT. Para llevar a cabo esta medición como se representa en la figura 40, se emplean instrumentos especializados, como el telurómetro que permite determinar la resistividad del suelo en distintos puntos de interés alrededor de la edificación.



Figura 40. Medición de la resistividad del terreno.

Fuente: Los autores

El procedimiento comienza con la identificación de puntos estratégicos alrededor de la infraestructura eléctrica, seleccionados de manera representativa para abarcar variaciones en las características del suelo. Luego, se procede a realizar mediciones precisas de la resistividad del terreno en estos puntos, obteniendo datos que proporcionan una visión detallada de la variabilidad del suelo en términos de resistividad eléctrica.

Estas mediciones se realizan siguiendo las pautas y normativas internacionales, asegurando la uniformidad en la recolección de datos. Los resultados obtenidos se integran posteriormente en el análisis global de la efectividad del SPT, permitiendo correlaciones entre la resistividad del terreno y el rendimiento del sistema. Este enfoque riguroso en la medición de la resistividad del terreno contribuye a una evaluación más precisa y detallada de la infraestructura eléctrica de las edificaciones bajo estudio.

3.6.1. Configuración a Utilizar para Medición de Resistividad

La medición de la resistividad del terreno utilizando un arreglo de 4 picas representado en la figura 41, es una práctica común en estudios geofísicos y ambientales. Este método implica la disposición estratégica de cuatro electrodos en el suelo, formando un cuadrado o un rectángulo. El espaciado entre las picas es crucial y determina la profundidad de la medición; distancias más grandes permiten explorar capas más profundas del suelo.

Para llevar a cabo la medición, las picas se conectan a un equipo de medición de resistividad que aplica corriente eléctrica al suelo. La caída de voltaje resultante se mide y registra para calcular la resistividad del terreno. Estos datos proporcionan información valiosa sobre la composición del subsuelo y pueden ser fundamentales en estudios geotécnicos y ambientales.

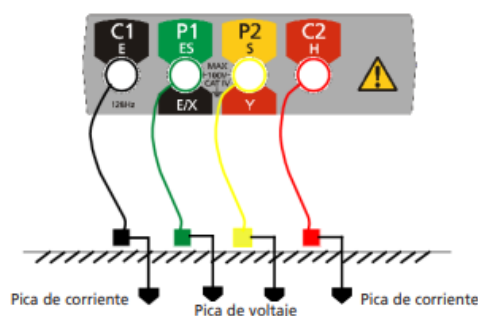


Figura 41. Conexión por el método de 4 picas.

Fuente:[48]

Es importante considerar que la resistividad del terreno varía con factores como la humedad y la composición geológica. Por ende, el análisis de datos debe tener en cuenta estas variables para interpretar con precisión la información recopilada. La resistividad se expresa en ohmios-metro ($\Omega \cdot m$) y la interpretación de los resultados puede ofrecer insights valiosos para entender la estructura del terreno a diversas profundidades. Para obtener detalles específicos sobre la configuración y procedimientos, se recomienda consultar manuales de equipos o referencias técnicas especializadas.

3.7. Recopilación de Datos de Medición de Resistencia del Terreno

Durante la medición correspondiente a la resistencia del terreno, se empleó una configuración específica utilizando un arreglo de 4 picas. Esta disposición consistió en colocar las 4 picas a una distancia uniforme, todas a la misma longitud, y se realizaron 8 mediciones a diversas profundidades. Además, para obtener una evaluación más completa, se llevó a cabo la medición en dirección de norte a sur.

La decisión de igualar la longitud de las picas y realizar mediciones a diferentes profundidades busca proporcionar una visión detallada de la variabilidad de la resistividad del suelo como se observa en la Tabla 2, en la ubicación seleccionada. La dirección específica de las mediciones, de norte a sur, permite capturar posibles diferencias en la resistividad que podrían estar asociadas con la orientación geográfica.

TABLA DE MEDICIÓN – NORTE A SUR		
SEPARACIÓN	PROFUNDIDAD	RESISTENCIA MEDIDA
1 m	0.35 mm	6,96
2 m	0.35 mm	4,95
3 m	0.35 mm	4,18
4 m	0.35 mm	3,15
5 m	0.35 mm	2,5
6 m	0.35 mm	1,45
7 m	0.35 mm	1,02
8 m	0.35 mm	0,8

Tabla 2. Medición de resistencia del terreno Norte a Sur.

Fuente: Los autores

Es fundamental señalar que este procedimiento se ejecutó con precaución y siguiendo prácticas de seguridad rigurosas. Cada medición se llevó a cabo de acuerdo con estándares establecidos, y se registraron detalladamente las condiciones ambientales para un análisis preciso de los resultados. La aplicación de esta metodología busca obtener información integral sobre la resistividad del terreno, contribuyendo así a una comprensión más profunda de las características geotécnicas en la ubicación de interés.

Durante la medición destinada a evaluar la resistencia del terreno, se empleó una configuración específica utilizando un conjunto de 4 picas. En este diseño, las 4 picas se dispusieron a distancias uniformes, todas con la misma longitud. Se realizaron 8 mediciones a diferentes profundidades, y se implementó también la dirección de Este a Oeste para obtener una visión exhaustiva se representa en la Tabla 3.

TABLA DE MEDICIÓN – ESTE A OESTE		
SEPARACIÓN	PROFUNDIDAD	RESISTENCIA MEDIDA
1 m	0.35 mm	20,1
2 m	0.35 mm	5,83
3 m	0.35 mm	5,44
4 m	0.35 mm	3,12
5 m	0.35 mm	1,95
6 m	0.35 mm	1,2
7 m	0.35 mm	0,08
8 m	0.35 mm	0,05

Tabla 3. Medición de resistencia del terreno Este a Oeste.

Fuente: Los autores

3.8. Cálculo de la Resistividad del Terreno

En esta sección, se presentarán los cálculos realizados para determinar la resistividad del terreno, basándonos en las mediciones de resistencia previamente obtenidas. Este proceso implica la aplicación de la ecuación (2) de la fórmula de resistividad, la cual se utilizará para cada una de las medidas tomadas en distintas direcciones.

Tal como se ilustra en la Tabla 2, los datos de resistividad del terreno obtenidos a través de mediciones realizadas en el terreno utilizando el medidor de conexión a tierra Megger DET4TC2 con el método de Wenner. Para llevar a cabo este procedimiento, se dispusieron

electrodos en una disposición lineal, con una profundidad que no excedió los 35 centímetros, según se detalla en la Tabla 4.

La obtención de estos datos permite aplicar la ecuación (2) en conjunto con la información recolectada en el campo para calcular la resistividad del suelo. Este enfoque se basa en la disposición específica de los electrodos y las mediciones realizadas bajo el método de Wenner, brindando resultados que reflejan la variabilidad de la resistividad a diferentes metrajes.

	Separación		Profundidad		Resistencia medida			Pi	Resistividad	
	a	Medida	a	Medida		R	Medida		Resistencia	Medida
N-S	1	metros	0,35	milímetros	2,3604314	6,96	Ω	3,1416	51,610978	Ωm
	2	metros	0,35	milímetros	2,79454067	4,95	Ω	3,1416	43,456784	Ωm
	3	metros	0,35	milímetros	4,19753195	4,18	Ω	3,1416	55,1215194	Ωm
	4	metros	0,35	milímetros	5,59860354	3,15	Ω	3,1416	55,4040046	Ωm
	5	metros	0,35	milímetros	6,99910386	2,5	Ω	3,1416	54,970791	Ωm
	6	metros	0,35	milímetros	8,39937677	1,45	Ω	3,1416	38,261849	Ωm
	7	metros	0,35	milímetros	9,79954172	1,02	Ω	3,1416	31,4019651	Ωm
	8	metros	0,35	milímetros	11,1996489	0,88	Ω	3,1416	28,1478537	Ωm

Tabla 4. Cálculo de resistividad en dirección Norte a Sur.

Fuente: Los autores

Tras una observación visual, se infiere que el suelo exhibe características de fertilidad notable, indicando un contenido de humedad superior en comparación con suelos más secos. En consecuencia, se realiza la suposición de un modelo de suelo uniforme, dando paso al cálculo de la resistividad promedio verificada en la Tabla 4, mediante la aplicación de la ecuación (8). Este proceso arroja un valor calculado de $44.79 \Omega\text{m}$ donde se ocupó la ecuación (17).

$$\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_n}{n_\rho} \quad (17)$$

$$\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4 + \rho_5 + \rho_6 + \rho_7 + \rho_8}{8} = 44.79 \Omega\text{m}$$

Después de completar las mediciones de resistencia del terreno en dirección de norte a sur, se llevó a cabo el cálculo correspondiente de la resistividad. Los resultados se plasmaron en la Figura 42, que muestra la gráfica de resistividad del terreno.

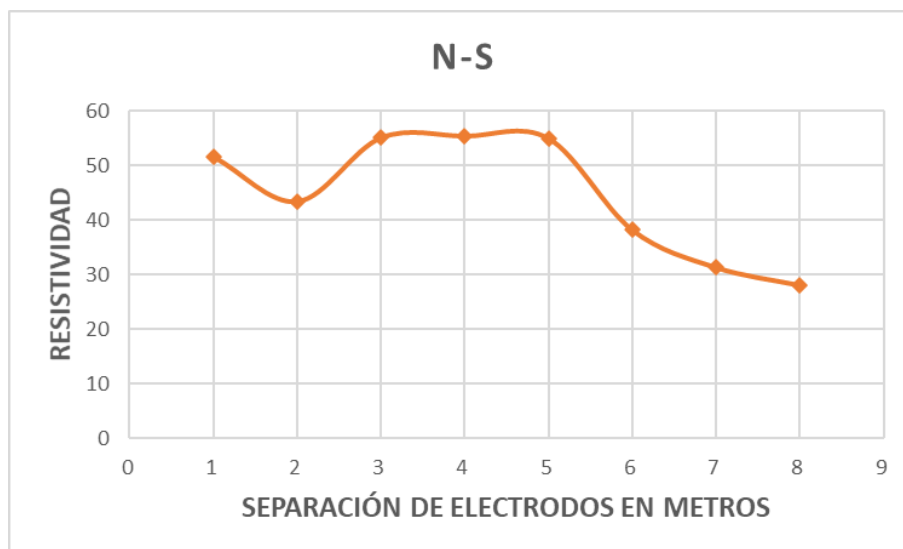


Figura 42. Representación gráfica de la resistividad del terreno Norte a Sur.

Fuente: Los autores

Como se muestra en la Tabla 5 se presentan los datos de resistividad del suelo obtenidos a través de mediciones de campo utilizando el método de Wenner con el instrumento de conexión a tierra Megger DET4TC2. En este procedimiento, se colocaron electrodos en línea recta, alcanzando una profundidad máxima de 35 centímetros con dirección de Este a Oeste, de acuerdo con la representación visual en la Tabla 5.

La recopilación de estos datos posibilita la aplicación de la (2), empleando la información obtenida en campo, con el propósito de calcular la resistividad del suelo. Este enfoque se sustenta en la disposición específica de los electrodos y las mediciones llevadas a cabo según el método de Wenner, generando resultados que evidencian la variabilidad de la resistividad en diversas profundidades.

	Separación		Profundidad		Resistencia medida			Pi	Resistividad	
	a	Medida	a	Medida		R	Medida		Resistencia	Medida
E-O	1	metros	0,35	milímetros	2,3604314	20,1	Ω	3,1416	87,1487891	Ωm
	2	metros	0,35	milímetros	2,79454067	5,83	Ω	3,1416	51,1834879	Ωm
	3	metros	0,35	milímetros	4,19753195	5,44	Ω	3,1416	71,737097	Ωm
	4	metros	0,35	milímetros	5,59860354	3,12	Ω	3,1416	54,8763474	Ωm
	5	metros	0,35	milímetros	6,99910386	1,95	Ω	3,1416	42,8773501	Ωm
	6	metros	0,35	milímetros	8,39937677	1,2	Ω	3,1416	31,6649785	Ωm
	7	metros	0,35	milímetros	9,79954172	0,08	Ω	3,1416	2,46289922	Ωm
	8	metros	0,35	milímetros	11,1996489	0,05	Ω	3,1416	1,75924085	Ωm

Tabla 5. Cálculo de resistividad en dirección Este a Oeste.

Fuente: Los autores

Es relevante destacar que este procedimiento se realiza con la finalidad de ahondar en la comprensión de las características geotécnicas del terreno, proporcionando datos cuantitativos que respalden las evaluaciones realizadas. Cada cálculo se llevará a cabo meticulosamente, asegurando la precisión y fiabilidad de los resultados para contribuir al análisis detallado de la resistividad del terreno en el área de estudio.

Tras una evaluación visual, se deduce que el suelo presenta signos evidentes de ser altamente fértil, sugiriendo un nivel de humedad superior en comparación con suelos más áridos. En consecuencia, se procede a asumir un modelo de suelo uniforme, lo que facilita la determinación de la resistividad promedio, como se verifica en la Tabla 3, mediante la aplicación de la ecuación (3). Este procedimiento resulta en un valor calculado de resistividad de $42.96 \Omega\text{m}$.

$$\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4 + \rho_5 + \rho_6 + \rho_7 + \rho_8}{8} = 42.96 \Omega\text{m}$$

Después de realizar las mediciones de resistencia del terreno en dirección de Este a Oeste, se procedió a calcular la resistividad correspondiente. Estos cálculos se reflejan en la Figura 43, donde se presenta la gráfica de resistividad del terreno.

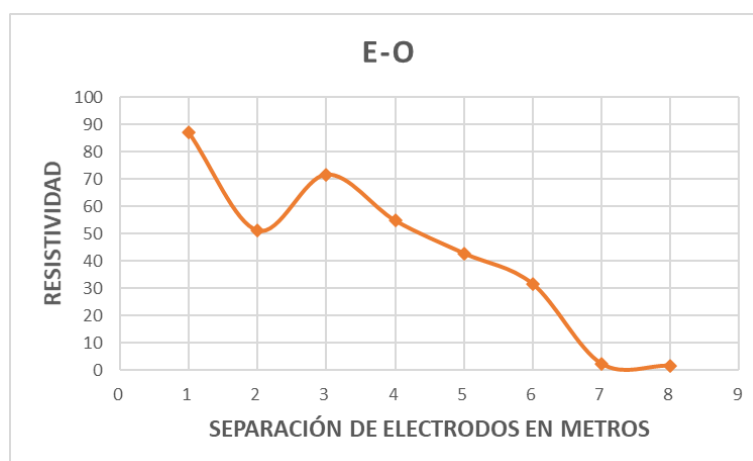


Figura 43. Representación gráfica de la resistividad del terreno Este a Oeste.

Fuente: Los autores

Este análisis permite considerar el grado de fertilidad del suelo como un indicador de su contenido de humedad. La suposición de uniformidad en el modelo del suelo facilita la estimación de la resistividad promedio, un dato clave en la evaluación de las propiedades

eléctricas del terreno. Este enfoque proporciona una aproximación útil para comprender la variabilidad de la resistividad y respalda la toma de decisiones en el diseño y gestión del SPT.

3.9. Medición del Sistema de Puesta a Tierra Existente Utilizando el Método del 62%

Con la utilización del método del 62% como se observa en la figura 44, realizamos una medición con las tres picas iniciamos la conexión punto X a tierra y conectada al telurómetro que la misma inyectará 50 voltios, la conexión del punto Y estará ubicada al 62% respecto al punto Z.

El cálculo del 62% abarca una caída de potencial donde calculamos la resistencia de la tierra en base a la caída de voltaje entre el punto X y Z. Esta medida proporciona información esencial sobre la eficiencia del SPT y su capacidad para disipar la corriente de falla hacia el suelo de manera efectiva.

El sistema de puesta a tierra debe estar aislado eléctricamente, si no está aislado las lecturas reflejarán todos los sistemas de puesta a tierra de la zona enganchados en paralelo. La lectura siempre será muy baja y no afectará la resistencia real del sistema de tierra. El resultado no es una prueba inexacta, sino inválida por error en la lectura en el telurómetro.

La resistencia se mide en varios lugares moviendo la sonda de voltaje (Y) a intervalos regulares, cada uno de ellos igual al 10% de la distancia XZ. Luego se trazan las mediciones de resistencia junto con la distancia entre el sistema de tierra y la sonda Y.

La importancia de mantener una resistencia baja radica en su capacidad para facilitar una disipación eficiente de la corriente de falla hacia el suelo. Cuanto menor sea la resistencia a tierra, mejor será el rendimiento del sistema de puesta a tierra, es importante mantener una resistencia baja radica en su capacidad para facilitar una disipación eficiente de la corriente de falla hacia el suelo.

Los estándares del IEEE para el sistema de puesta a tierra debemos tener valores inferiores de 2 a 5 Ω para disipar la corriente de forma segura a tierra. Esta medida es esencial para

asegurar una disipación segura de corriente hacia la tierra, evitando riesgos potenciales y garantizando la integridad del sistema eléctrico. Este rango no solo se basa en criterios de eficiencia funcional, sino también en consideraciones de seguridad, mitigando la posibilidad de daños a equipos, protegiendo a las personas contra descargas eléctricas y reduciendo el riesgo de potenciales incendios.

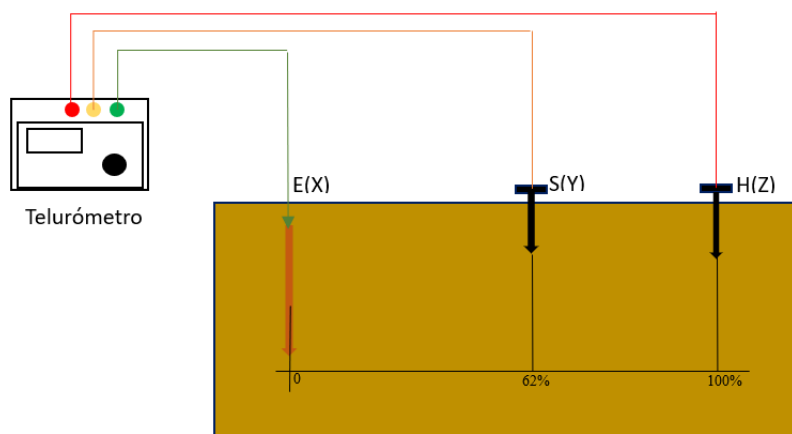


Figura 44. Representación de medición de resistencia de PT aplicando el método de 62%.

Fuente: Los autores

Con el método utilizado realizamos la primera medición en el sistema de puesta a tierra dirigida a la sala de alta tensión está ubicando un electrodo químico con una separación de 10 metro en la pica Z y al 62% la pica Y con la separación 3.8 metro. Que nos dio como resultado una resistencia dada en la Tabla 5.

VALOR DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA CON EL MÉTODO DEL 62% (ELECTRODO QUÍMICO)	
SEPARACIÓN (M)	RESISTENCIA (OHM)
10	0.31

Tabla 6. Valor de resistencia del electrodo químico existente.

Fuente: Los autores

Con el método utilizado realizamos la primera medición en el sistema de puesta a tierra del transformador de 750kva se realizó la medición a electrodos varilla coperweld con una separación de 10 metro en la pica Z y al 62% la pica Y con la separación 3.8 metro.

El valor representado de la resistencia se evidencia en la Tabla 7.

VALOR DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA CON EL METODO DEL 62% (VARILLA COPPERWELD)	
SEPARACIÓN (M)	RESISTENCIA (OHM)
10	0.97

Tabla 7. Valor de resistencia de puesta a tierra existente.

Fuente: Los autores

3.10. Cálculo de la Resistencia del Sistema de Puesta a Tierra

La resistencia de la red de tierra se establece mediante la ecuación (18), diseñada para redes enterradas a una profundidad adecuada para asegurar una conexión eficiente con el suelo. Este cálculo considera diversos factores, como la configuración de la red, la conductividad del suelo y la distribución anticipada de la corriente.

$$R_G = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20 * A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \quad (18)$$

Donde:

R_G = Resistencia del sistema de puesta a tierra.

$\rho = 44.79 \Omega$ - Resistividad del terreno, este valor se calculó con la ecuación (17).

L_T = Longitud total este valor lo calculamos con la suma de L_c y L_R que nos da como resultado 54.9 m.

$A = 17.5 \text{ m}^2$ - Área de la malla

$h = 0.5 \text{ m}$ - Profundidad que se encuentra enterrada en el SPT.

Después de tener los datos reemplazamos en la ecuación (18).

$$R_G = 44.79 \left[\frac{1}{54.9} + \frac{1}{\sqrt{20 * 17.5}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0.5 \sqrt{\frac{20}{17.5}}} \right) \right]$$

$$R_G = 4.77 \Omega$$

Generalmente, se procura que la resistencia sea mínima, preferiblemente inferior a 5 ohmios, para asegurar una eficaz dispersión de corriente en caso de una descarga eléctrica.

3.11. Cálculo de Tensiones de Paso y Toque

Conforme a las especificaciones de la normativa de la IEEE Std. 80-2013, los cálculos de los valores de tensión de paso y de toque se realizan utilizando las ecuaciones (8) y (10) que se detallan en el capítulo II. Antes de abordar estas ecuaciones, es necesario calcular varios factores fundamentales, entre ellos, el valor preciso de la corriente máxima de falla a tierra se obtiene a través de la determinación del factor de decremento y el factor de división de corriente de falla.

- Identificar la clase de avería a tierra que podría ocasionar la corriente máxima que fluye entre la malla del SPT y el suelo circundante.
- Calcular la máxima intensidad de corriente simétrica de falla a tierra entre la MPT y el suelo ambiente en el momento inicial de la falla.

Estos pasos preliminares son esenciales para garantizar la precisión de los cálculos y la eficacia del sistema de tierra en la protección contra descargas eléctricas.

3.11.1. Cálculo del Factor de Decremento

Se produce debido al flujo de corriente continua y a la reducción de las componentes transitorias de corriente alterna y continua en la corriente de falla.

La normativa IEEE Std. 80-2013 indica que, dado que los cortocircuitos ocurren de manera impredecible en relación con la forma de onda de tensión y el contacto puede ocurrir en el

momento de la falla, es prudente asumir una onda de corriente de falla a tierra asimétrica desplazada al 100% durante todo el evento eléctrico.

Dado que los resultados obtenidos mediante experimentos para determinar el inicio de la fibrilación están basados en corrientes senoidales simétricas de intensidad constante., se requiere calcular el valor eficaz de una corriente senoidal que sea equiparable a la forma de onda asimétrica de la falla. El valor de esta magnitud se calcula mediante la siguiente ecuación (19):

$$I_F = \sqrt{\frac{1}{t_f} \int_0^{t_f} [i_f(t)]^2 dt} = D_f \quad (19)$$

Entonces basándose en la ecuación (18), el facto de decremento se representa por la siguiente ecuación (19):

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} (1 - e^{-\frac{2t_f}{T_a}})} \quad (20)$$

Donde:

D_f = Factor decremento

T_a = Relación x/r

t_f = Tiempo de duración de la falla

Para calcular los tiempos de falla t_f , nos apoyaremos en la siguiente Tabla 8. Además, podremos determinar el valor del factor de decremento a partir de la relación X/R, lo que nos permitirá obtener su correspondiente valor de factor de decremento D_f . El factor de decremento es una medida importante en el análisis de fallas eléctricas, ya que indica la proporción entre la reactancia y la resistencia del sistema.

Fault duration, t_f		Decrement factor, D_f			
Seconds	Cycles at 60 Hz	$X/R = 10$	$X/R = 20$	$X/R = 30$	$X/R = 40$
0.008 33	0.5	1.576	1.648	1.675	1.688
0.05	3	1.232	1.378	1.462	1.515
0.10	6	1.125	1.232	1.316	1.378
0.20	12	1.064	1.125	1.181	1.232
0.30	18	1.043	1.085	1.125	1.163
0.40	24	1.033	1.064	1.095	1.125
0.50	30	1.026	1.052	1.077	1.101
0.75	45	1.018	1.035	1.052	1.068
1.00	60	1.013	1.026	1.039	1.052

Tabla 8. Valores característicos del factor de decremento.

Fuente: IEEE std .80-2013

Consideraremos un tiempo de apertura de 0.50 segundos según lo indicado en la tabla, con un ciclo de 30, como se observa en la misma. La duración de la falla es un elemento crucial en el estudio de la estabilidad y la protección del sistema eléctrico

$$t_f = 0.50 \text{ seg}$$

Por ende, al realizar la interpolación lineal correspondiente utilizando los valores proporcionados en la tabla, obtenemos el factor de decremento. La interpolación lineal es una técnica comúnmente utilizada para estimar valores intermedios entre dos puntos conocidos en un conjunto de datos.

$$D_f = 1.101 \text{ seg}$$

3.11.2. Cálculo de la Corriente Durante Falla.

Para determinar la corriente de falla I_f , nos basaremos en los productos estándares de corrientes de cortocircuito correspondientes a cada nivel de tensión del sistema de las redes en la región costera del Caribe. Estos valores se detallan en la Tabla 9.

NIVEL DE TENSIÓN [kV]	CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO [kA]
110	31,5
66	31,5
34,5	25
13,8	25

Tabla 9. Corriente de cortocircuito.

Fuente: Los autores

Para nuestro caso el transformador tiene un nivel de tensión 13,8Kv, la corriente de cortocircuito o corriente de falla será de 25 kA representada quedaría así:

$$I_f = 25000A$$

3.11.3. Cálculo del Coeficiente de División de la Corriente de Falla.

Este factor indica la porción de la corriente de falla que fluye a través de la malla de tierra y el área circundante. La comprensión de cómo se distribuye la corriente de falla es crucial para el boceto efectivo de SPT y la mitigación de riesgos eléctricos.

Después de determinar la corriente máxima de falla, es esencial calcular el coeficiente de división de corriente, que indica el porcentaje de la corriente total de falla que fluye a través de la malla. El valor de este coeficiente se obtiene siguiendo alguno de las técnicas aconsejadas por la norma ANSI - IEEE Std. 80/2000. En este ejemplo, el coeficiente de división de corriente se calcula utilizando el método gráfico representado en la figura 45, el cual considera el número de líneas de transmisión y de distribución.

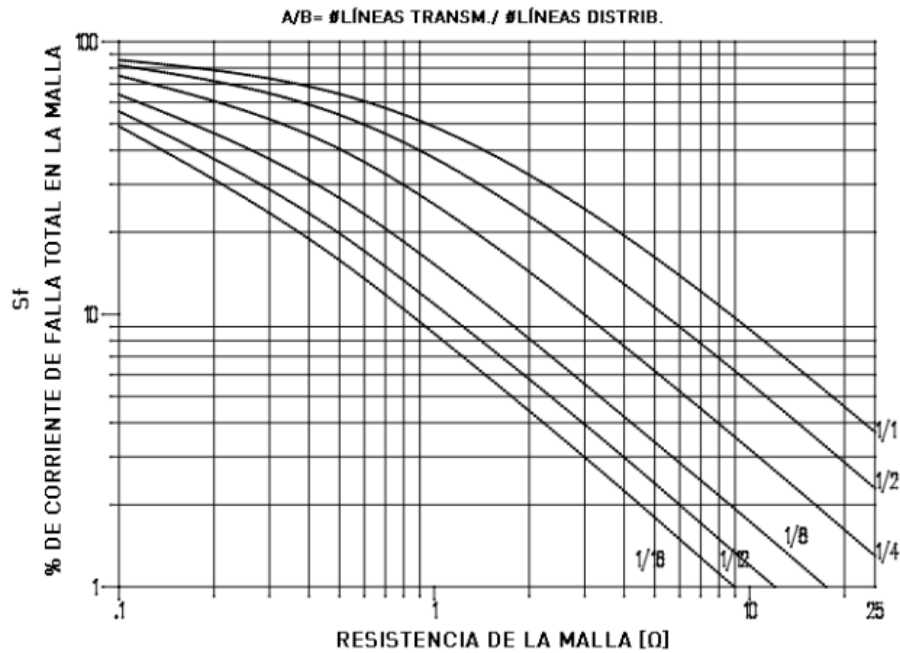


Figura 45. Método gráfico del factor de división de corriente.

Fuente: IEEE std.80-2013

El valor se representará en porcentaje del factor de división de corriente de falla será:

$$S_f = 9\%$$

3.11.4. Cálculo de la Máxima Corriente Durante una Falla.

El cálculo de la máxima corriente durante una falla de malla es crucial en el diseño y análisis de SPT, ya que determina la máxima cantidad de corriente que puede circular a través de la malla de tierra en el evento de una falla eléctrica.

Es esencial calcular con precisión esta corriente para garantizar que el SPT pueda manejar de forma segura y eficaz las condiciones de falla, protegiendo así tanto a las personas como a los equipos eléctricos se representa a través de la ecuación (21).

$$I_G = D_f + I_g = D_f * S_f * I_f \quad (21)$$

Utilizaremos los resultados obtenidos en los cálculos previos como datos de entrada para determinar con precisión de máxima corriente que puede fluir a través de la malla de tierra en caso de un daño eléctrico con la ecuación (17). Para $D_f = 1.101$, **para** $S_f = 9\%$ y **para** $I_f = 25000 \text{ A}$

$$I_G = 2477.25 \text{ A}$$

3.11.5. Cálculo de Tensiones Tolerables de Paso y Toque

Tomamos en consideración los datos proporcionados anteriormente para calcular las tensiones admisibles de paso y de contacto.

DATOS:

$\rho_s = 2500 \Omega$ - Resistividad superficial del terreno esta opción fue tomada en la Tabla 10, grava clasificada.

$\rho = 44.79 \Omega$ - Resistividad del terreno, este valor se calculó con la ecuación (17).

$t_s = 0.5 \text{ seg}$ – Tiempo de despeje de falla

$h_s = 0.15 \text{ m}$ – Altura de capa del terreno

DESCRIPCION DEL TERRENO	RESISTIVIDAD PROMEDIO [ohm-cm]
Grava bien clasificada, grava y arena mezcladas, poco o nada finos	60 000-10 0000
Grava pobremente clasificada, grava y arena mezcladas, poco o nada finos	100 000-250 000
Grava arcillosa, grava pobremente clasificada, arcilla y arena mezclada	20 000-40 000
Arena con sedimentos, arena y sedimento mezclada	10 000-50 000
Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla pobremente clasificada	5000-20 000
Sedimentos o arcilla con arena fina y ligera plasticidad	3000-8000
Arena fina o suelos sedimentados, sedimentos elásticos	8000-30 000
Arcillas arenosas, arcilla con sedimentos	2500-6000
Arcillas inorgánicas de gran plasticidad	1000-5500

Tabla 10. Valor de resistividad tipos de terrenos.

Fuente: Norma IEEE Std.142-1991

Para primero calcular la tensión tolerable de paso y de toque, debemos saber la forma empírica para el valor de C_s dada en la ecuación (7):

Remplazamos los datos:

$$C_s = 1 - \frac{0.09(1 - \frac{44.79}{2500})}{2(0.15) + 0.09}$$

$C_s = 0.77$

Para el cálculo de la tensión tolerable de paso y de toque aplicaremos las ecuaciones (4) y (6) para un peso corporal de 70kg.

Remplazamos con los datos dados anteriormente:

$$E_{\text{paso70kg}} = (1000 + 6(0.77) * 2500) \frac{0.157}{\sqrt{0.5}}$$

$$E_{\text{toque70kg}} = (1000 + 1.5(0.77) * 2500) \frac{0.157}{\sqrt{0.5}}$$

Se resume los siguientes cálculos en la Tabla 11:

VALORES DE TENSIONES REALES DE PASO Y TOQUE			
Denominación	Nomenclatura	Valor	Unidad
Tensión de paso	E_{paso70kg}	2786.49	V
Tensión de toque	$E_{\text{toque70kg}}$	863.14	V

Tabla 11. Valores de resultados de tensiones de paso y toque.

Fuente: Los autores

3.11.6. Cálculo del Aumento del Potencial de Tierra (GPR)

El voltaje de gradiente de potencial (GPR) representa la tensión eléctrica máxima que puede alcanzar un electrodo de tierra respecto a un punto de conexión a tierra remoto, considerado estar en el potencial de tierra.

Este valor se obtiene multiplicando la corriente máxima de la red por la resistencia de la red, como se indica en la ecuación (22).

$$GPR = R_G * I_G \quad (22)$$

Donde:

$R_G = 4.77 \Omega$ - Resistencia del SPT.

$I_G = 2477.25 \text{ A}$ - corriente máxima del SPT.

Una vez colocado los datos remplazaremos en la ecuación (22) que nos da como resultado:

$GPR = 8465,63 \text{ V}$

Dado que el valor del voltaje de gradiente de potencial (GPR) es de 8465.63 V, lo cual supera la tensión de paso y de contacto, se procede a efectuar los cálculos correspondientes para determinar las tensiones involucradas.

$$G_{PR} < E_{\text{toque}70\text{kg}}$$

$$8465.63 \text{ V} < 863.14 \text{ V}$$

3.11.7. Cálculo de Tensiones Reales de Paso y Toque

En cuanto a los aspectos cruciales, se establece que la dimensión del área del SPT, la separación entre conductores y la profundidad de la malla son los principales elementos que influyen de manera significativa en la tensión de contacto. Estos factores son fundamentales para garantizar una adecuada dispersión de corriente y una eficaz protección contra descargas eléctricas en sistemas de tierra.

Se requerían los siguientes datos para calcular las tensiones reales, tanto de paso como de toque:

$\rho = 44.79 \Omega\text{m}$ - Resistividad del terreno, este valor se calculó con la ecuación (17).

$D = 1.5 \text{ m}$ - Espacio entre conductor paralelo

$h = 0.5 \text{ m}$ - Profundidad que se encuentra enterrada en el SPT.

$d = 0.01168 \text{ m}$ - Diámetro del conductor del sistema de puesta tierra este valor lo obtuvimos dividiendo por 1000 el diámetro exterior de nuestro conductor de calibre 4/0 dado por Tabla 12.

$L_c = 30.5 \text{ m}$ - Longitud total del conductor del SPT.

$L_R = 29.28 \text{ m}$ - Longitud total de todas las varillas.

$L_s = 47.76 \text{ m}$ - Longitud efectiva del conductor del SPT este valor se realizó aplicando la ecuación (9).

$$L_s = 0.75 * 30.5 + 0.85 * 29.28 = 47.76 \text{ m}$$

$L_r = 2.44 \text{ m}$ - Longitud de cada varilla.

$L_x = 5 \text{ m}$ - Longitud máxima de conductor de puesta a tierra en dirección x

$L_y = 3.5 \text{ m}$ - Longitud máxima de conductor de puesta a tierra en dirección y

$L_p = 17 \text{ m}$

$A = 17.5 \text{ m}^2$ - Área de la malla

$L_m = 90.16 \text{ m}$ - Longitud efectiva del conductor del SPT para tensión de toque se realizó a partir de la ecuación (11).

$$L_m = 16 + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{2.44}{\sqrt{5^2 + 3.5^2}} \right) \right] * 29.28 = 90.16 \text{ m}$$

$I_G = 2796.18 \text{ A}$ - Corriente máxima de malla calculada aplicando la ecuación (17).

Nº AWG	SECCIÓN DEL CABLE MM	DIÁMETRO DEL CABLE Ø MM	RESISTENCIA COND. EN Ω/KM
4/0	107,2	11,68	0.18
3/0	85	10,4	0.23
2/0	67,4	9,27	0.29
0	53,4	8,25	0.37
1	42,4	7,35	0.47

Tabla 12. Valores de calibre de conductores.

Fuente: CABEL

Utilizando las ecuaciones (12), (13), (14), (15) y (16), llevaremos a cabo los cálculos necesarios para determinar una serie de factores clave:

Remplazamos los datos para cada factor para tensión de paso y toque:

$$k_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0.5} + \frac{1}{1.5 + 0.5} + \frac{1}{1.5} * (1 - 0.5^{3.58-2}) \right]$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 * 3.58$$

$$k_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left[\frac{2^2}{16 * 0.5 * 0.0116} + \frac{(1.5 + 2 * 0.5)^2}{8 * 1.5 * 0.0116} - \frac{0.5}{4 * 0.0116} \right] + \frac{1}{1.22} \ln \left[\frac{8}{\pi * (2 * 3.58 - 1)} \right] \right]$$

$$k_h = \sqrt{1 + \frac{0.5}{1}}$$

$$n = 3.58 * 1 * 1 * 1$$

$$n_a = \frac{2 * 30.5}{17} = 3.58$$

$$n_b = \sqrt{\frac{17}{4 * \sqrt{17.5}}} = 1.0$$

$n_c = 1$ para puesta a tierra rectangulares y cuadradas.

$n_d = 1$ para puesta a tierra en forma “L”, rectangulares y cuadradas.

La información recopilada se presenta de manera resumida en la Tabla 13.

VALORES DE LOS FACTORES k_s, K_i, k_m, k_h, n		
DENOMINACIÓN	NOMENCLATURA	VALOR
Número efectivo de conductores paralelos a la malla	n	3.58
Factor de ajuste correctivo	K_{ij}	1
Factor de ponderación correctivo	K_h	1.22
Factor de espaciamiento para tensión de toque	K_m	0.547
Factor de espaciamiento para tensión de paso	K_s	0.6186
Factor correctivo por geometría de la malla	K_i	1.17

Tabla 13. Cálculo de los valores de los factores.

Fuente: Los autores

Con ayuda de los valores sacados de la tabla 12 realizaremos el cálculo de los voltajes reales de paso y toque con las siguientes ecuaciones (8) y (10).

Remplazaremos los valores dados anteriormente:

$$E_s = \frac{44.79 * 0.6186 * 1.17 * 2477.25}{47.76}$$

$$E_m = \frac{44.79 * 0.547 * 1.17 * 2477.25}{90.16}$$

Se determinaron los datos concretos de tensión de paso y de toque a partir de las consecuencias obtenidas en la Tabla 14.

VALORES DE TENSIONES REALES DE PASO Y TOQUE			
Denominación	Nomenclatura	Valor	Unidad
Tensión de paso	E_s	1681.44	V
Tensión de toque	E_m	787.60	V

Tabla 14. Productos de resultados de tensiones reales de paso y toque.

Fuente: Los autores

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis de las Tensiones de Paso y Toque

El examen exhaustivo y análisis detallado de parámetros críticos como la resistencia de PT, las tensiones de toque y de paso, y la resistividad concreta del suelo son esenciales para evaluar la eficacia del SPT. Estos datos no solo proporcionan información crucial sobre la capacidad de disipación de corrientes de falla del sistema, sino que también son fundamentales para garantizar la protección de los equipos instalados en las edificaciones.

Además, estos parámetros juegan un papel vital en la seguridad del personal que trabaja en la instalación, ya que una mala configuración de la malla de tierra puede aumentar el riesgo de descargas eléctricas y otros peligros.

A continuación, se presenta una tabla 14 de comprobación del SPT de la edificación.

TABLA DE VERIFICACIÓN DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA DE LA EDIFICACIÓN		
Parámetro del sistema puesta a tierra	Sistema de puesta tierra actual	Cumple IEEE std.80-2013
Conductor de sistema de puesta a tierra	Cobre duro trenzado calibre AWG 4/0	Cumple con el requisito de la norma
Resistencia de sistema de puesta a tierra	0.97 Ω	Cumple, se puede considerar valor convalidado
Resistividad	44.79 Ω	El valor obtenido es un aproximado
Voltaje de paso y de toque máximo permisible	Cálculo $V_{paso} = 2786.49 V$ $V_{toque} = 863.14 V$	Cumple con los requerimientos de la norma

Tabla 15. Comprobación del sistema de puesta a tierra.

Fuente: Los autores

Para asegurar una correcta protección eléctrica y un funcionamiento eficiente de los sistemas de puesta a tierra, es crucial llevar a cabo una verificación periódica de la malla de tierra de las edificaciones. Esta tabla proporciona una herramienta útil para registrar y evaluar diversos aspectos de la MPT, como la resistencia, la integridad de las conexiones y la distribución uniforme de los electrodos del SPT.

4.1.1. Observaciones de Verificación del Sistema de Puesta a Tierra Existente

Estas observaciones nos ayudaran a corroborar el cumplimiento o no cumplimiento de las normativas pertinentes, ya que son importante para llevar a cabo estas verificaciones de manera regular para certificar la seguridad eléctrica y la maniobra confiable de los equipos y sistemas eléctricos en una edificación.

- Se actualizaron las medidas del SPT de la edificación, incluyendo la resistividad del suelo, la resistencia de la MPT, la estimación de las tensiones de toque y de paso, así como el examen y actualización de los diseños de construcción de la MPT.
- El análisis visual indica que los conductores de protección y de servicio están en condiciones adecuadas, sin embargo, se detecta que las conexiones externas muestran signos de deterioro, con presencia de óxido, lo que afecta la calidad del contacto con las estructuras.
- Las tensiones de paso y de toque registradas están por debajo de los límites máximos permitidos, lo que indica que el sistema si cumple con los estándares de seguridad establecidos por la norma IEEE Std. 80-2013. Por lo tanto, se realizará un análisis de las tensiones de y así corroborar con las normas.
- El estado operativo del Sistema de Puesta a Tierra es satisfactorio ya que no se encuentra condiciones por la baja resistividad del terreno y por las tensiones de paso y toque. Esta evaluación representa la primera vez que se realiza un análisis exhaustivo del sistema de tierra.

4.1.2. Verificación de Cumplimiento de la Normativa Eléctricas y de Seguridad

A través de la normativa IEEE STD.80-2013, se ha llevado a cabo la verificación del cumplimiento de la resistividad del suelo que rodea el SPT existente. Para este propósito, hemos utilizado la tabla proporcionada por la normativa para corroborar si los valores obtenidos cumplen con los estándares establecidos. Según nuestros cálculos, la resistividad del terreno, determinada como 44.79 Ω m, se encuentra dentro del rango aceptable de 5 Ω m a 50 Ω m. Este rango es considerado adecuado según lo establecido por la normativa vigente representada en la Tabla 16. Es importante destacar que este valor ha sido obtenido considerando que se trata de un relleno de tierra vegetal.

VALORES TÍPICOS DE RESISTIVIDAD DE DIFERENTES SUELOS		
TIPO	RESISTIVIDAD (OHMIOS-METRO)	
Agua de mar	0.1 -	1
Tierra vegetal/arcilla húmeda	5 -	50
Arcilla, arena y grava	40 -	250
Creta(tiza)porosa	30 -	100
Piedra caliza cristalina	300 +	
Roca	1.000 -	10.000
Roca ígnea	2.000 +	
Concreto seco	2.000 -	10.000
Concreto húmedo	30 -	100
Hielo	10.000 -	100.000

Tabla 16. Valores típicos de resistividad.

Fuente: IEEE std.81

Se empleo el método de Wenner o de 4 puntos para la evaluación de la resistencia del SPT en el edificio E. En este proceso se efectúan un total de 8 mediciones, con resultados que varían entre 0.05 y 20.01 ohmios. Además, se deduce, mediante una inspección visual, que el suelo exhibe características de fertilidad significativas, lo que justifica el uso del modelo de suelo uniforme en el cálculo de la resistividad.

El valor obtenido para la resistividad del suelo cumple con lo establecido por la norma IEEE 80 que nos indica que la resistividad del suelo en áreas urbanas no debe exceder los 100 ohm-metros para sistemas de puesta a tierra de baja frecuencia, pero para un edificio, especialmente en suelos salinos, se recomienda que la resistividad del terreno sea lo más baja posible, idealmente por debajo de 10 ohmios- metro.

4.1.3. Análisis de las Tensiones de Toque y de Paso Calculadas

Si las tensiones de toque y paso calculadas resultan inferior a la tolerancia de paso y de toque segura para el cuerpo humano, se considera que el diseño ha sido completado de manera satisfactoria basándonos en esquema de bloques del proceso de diseño presentado en la figura 46.

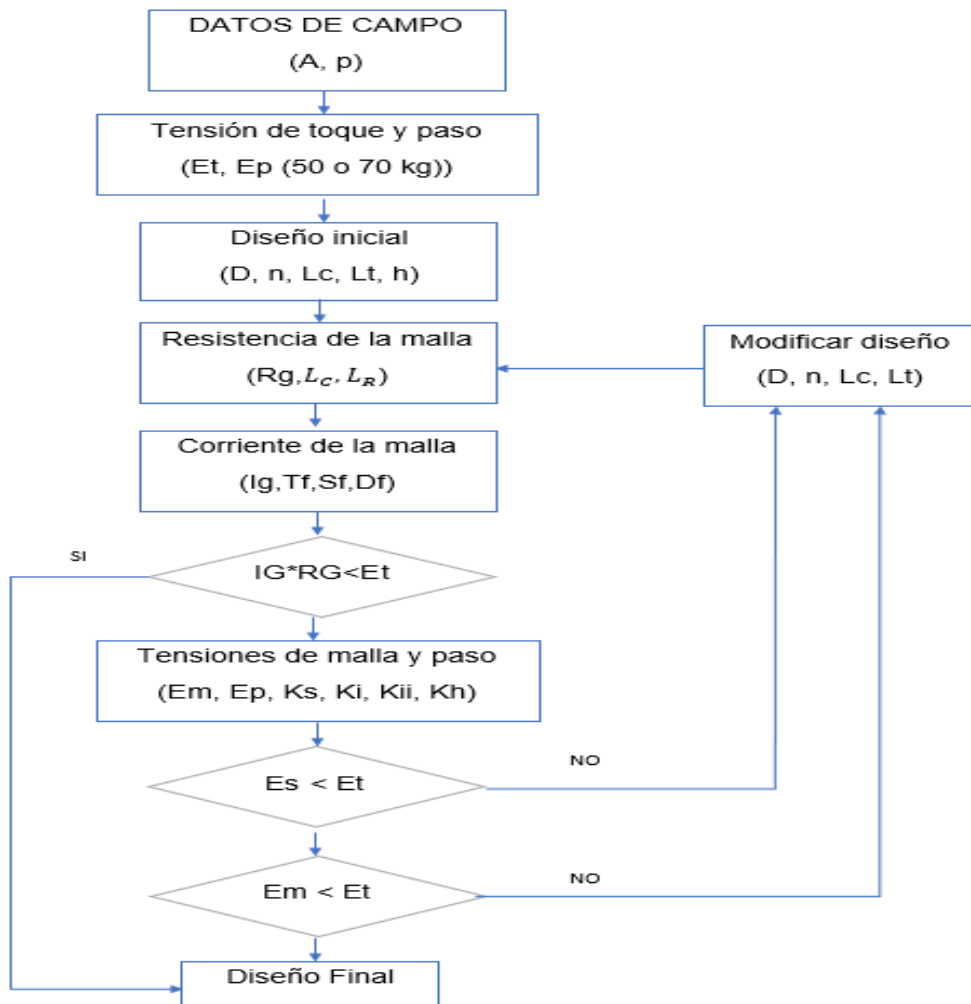


Figura 46. Esquema de bloques del proceso de diseño.

Fuente: IEEE std.80-2013

COMPARACIÓN DE VALORES DE TENSIONES TOLERANTES Y REALES DE PASO Y TOQUE		
Denominación	Nomenclatura	Valor
Tensión de paso	E_s	2786.49 V
Tensión de toque	E_m	863.14 V
Tensión de step	E_{step}	1681.44 V
Tensión de touch	E_{touch}	787.60 V

Tabla 17. Comparación de resultados tensiones tolerantes y reales de paso y toque.

Fuente: Los autores

La tensión real de paso calculada cumple con el estándar al ser inferior a la tolerancia establecida para la misma.

$$E_s < E_{paso70kg}$$

$$1681.44 < 2786.49 \text{ V}$$

Para la tensión real de toque calculada vemos que si cumple con la norma que sea inferior a la tolerancia de toque.

$$E_m < E_{toque70kg}$$

$$787.60 \text{ V} < 863.14 \text{ V}$$

Si los límites permitidos para las tensiones de contacto se superan, será necesario revisar el diseño de la malla. Esta revisión puede implicar ajustes como reducir los espacios entre los conductores, agregar electrodos de tierra adicionales, instalar cables de protección en las líneas de transmisión o aumentar el área cubierta por la MPT.

Una vez que se hayan cumplido los requisitos para las tensiones de paso y de toque, es posible que se necesiten conductores de MPT adicionales para los equipos y varillas de tierra verticales adicionales. Se instalan conductores adicionales a la MPT cuando el diseño inicial no incluye conductores cercanos al equipo que necesita conexión a tierra.

Las varillas de tierra verticales adicionales pueden ser colocadas en la base de los pararrayos, el neutro de los transformadores y otros equipos principales. Simulación y análisis comparativos de resultados utilizando el programa ETAP

4.2. Simulación y Análisis Comparativo de Utilizando el Programa ETAP

Después de completar los cálculos manualmente, procederemos a contrastarlos utilizando software técnico en el diseño de este tipo, con el propósito de contrastar los resultados obtenidos. Analizaremos específicamente el diseño de la malla de tierra para protección contra sobretensiones, y evaluaremos las derivaciones obtenidas al simular MPT junto con los electrodos del sistema de pararrayos.

Aunque nuestro diseño se basa en la metodología establecida por el IEEE 2013, también exploraremos otras metodologías de dimensionamiento de sistemas de puesta a tierra para realizar comparaciones. Para ello, llevaremos a cabo una simulación utilizando el Método de Elementos Finitos (FEM), ampliamente reconocido por su precisión en el análisis de estructuras complejas.

4.2.1. Simulación con el Software ETAP

Dibujaremos en el software ETAP una simple malla rectangular como se observa en la figura 47 donde una vez dibujada introduciremos los datos de nuestro SPT existente.

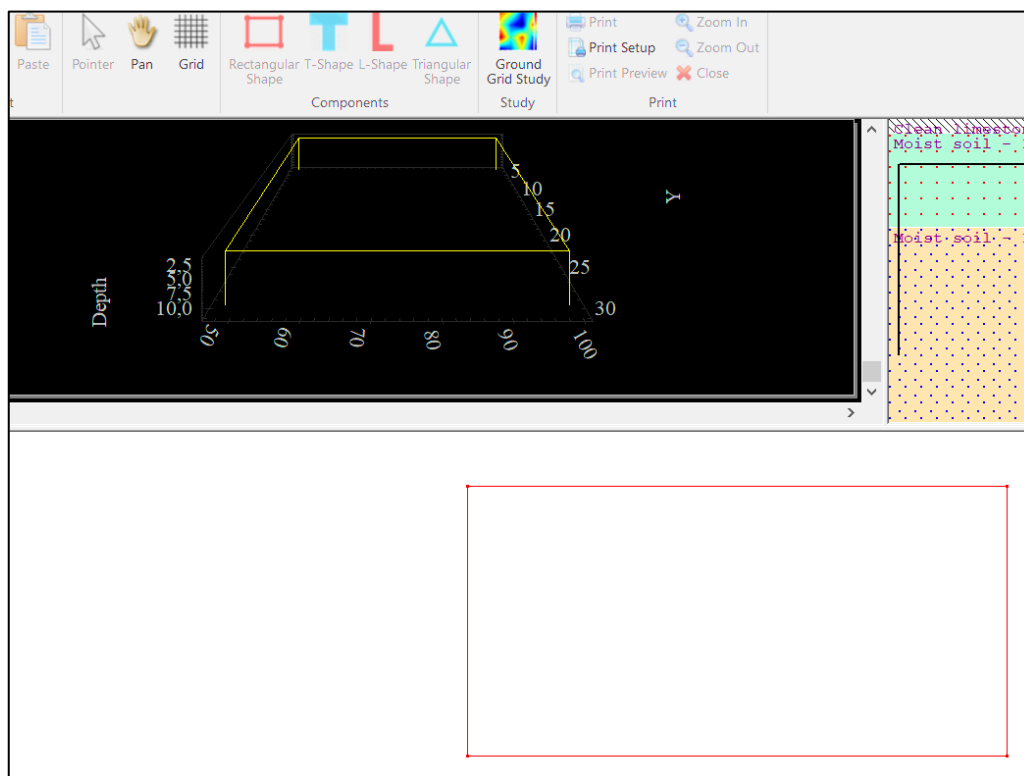


Figura 47. Representación de diseño del SPT existente.

Fuente: Los autores

Una vez eso contamos con la disposición geométrica de la malla, y ahora es necesario modificar los parámetros que incluyen la posición, extensión y grosor de los conductores de la malla, así como de sus electrodos o varillas.

Para nuestro caso es un sistema de puesta a tierra rectangular con medidas 5 x 3.5 m, con un conductor 4/0 y 12 varillas cobre. Observamos en la figura 48 y 49 la modificación de los datos expuesto anteriormente.

Para este caso colocaremos los números de conductores con la dirección de “X Dirección” sea de 3 y la dirección “Y Dirección” con 4.

IEEE Group Editor ×

Conductors | Rods

Grid Size

Lx ft

Ly ft

of Conductors

X Direction

Y Direction

Material Constants

Conductivity

Alpha Factor

Ko Factor

Fusing Temperature

Resistivity @ 20 C

Thermal Capacity

Conductors

Depth ft

Size AWG/kcmil

Type

Cost \$/ft

Figura 48. Modificación de datos del conductor.

Fuente: Los autores

IEEE Group Editor ×

Conductors | Rods

Rods

of Rods

Diameter inch

Length ft

Arrangement

Type

Cost \$/Rod

Material Constants

Conductivity

Alpha Factor

Ko Factor

Fusing Temperature

Resistivity @ 20 C

Thermal Capacity

Figura 49. Modificación de datos de la varilla.

Fuente: Los autores

Una vez modificados los datos del SPT, observaremos en la figura 50 el diseño de nuestro de la MPT con los datos del sistema de tierra existente.

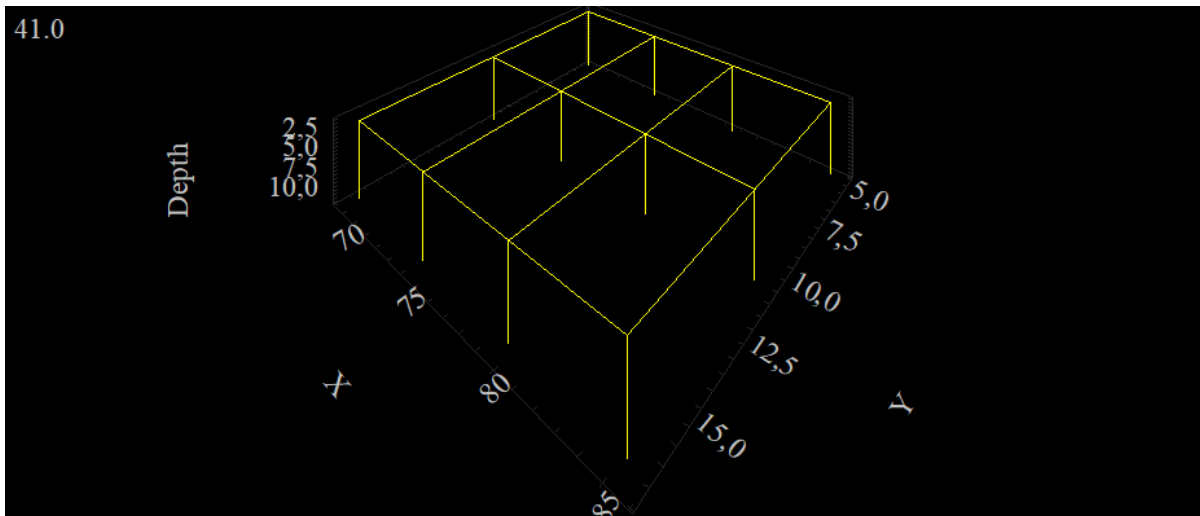


Figura 50. Diseño de puesta a tierra existente en ETAP.

Fuente: Los autores

A continuación, debemos considerar los valores de resistividad del terreno, los cuales se obtuvieron mediante mediciones donde se representarán en la figura 51 y serán fundamentales durante la ejecución de la simulación.

	Active	Probe Distance (ft)	Measured Resistivity (ohm-m)	Calculated Resistivity (ohm-m)	Error %
3	<input checked="" type="checkbox"/>	9.840	55.120	48.721	11.61
4	<input checked="" type="checkbox"/>	13.120	55.400	45.000	18.77
5	<input checked="" type="checkbox"/>	16.400	54.970	41.131	25.18
6	<input checked="" type="checkbox"/>	19.680	38.260	37.548	1.86
7	<input checked="" type="checkbox"/>	22.960	31.400	34.445	-9.70
8	<input checked="" type="checkbox"/>	26.240	28.140	31.864	-13.23

Max Iteration: 999
Precision: 0.0001

Top Layer:
Depth: 12.953 ft
Resistivity: 53.369 ohm-m

Lower Layer:
Resistivity: 20.588 ohm-m

RMS Error: 14.81 %

Unit: Resistance (ohms) Resistivity (ohm-m)

Update: Resistivity Tolerance: 5 %

Buttons: Add, Insert, Delete, Copy, Calculate, Export, Help, OK, Cancel

Figura 51. Colocación de mediciones de resistencia del terreno.

Fuente: Los autores

Una vez registrado los valores de resistividad del terreno los cuales obtuvimos por mediciones, donde el programa calculara el promedio de la resistividad dado y representara la siguiente figura 52 la curva de resistividad del terreno en unidad de ohm-m.

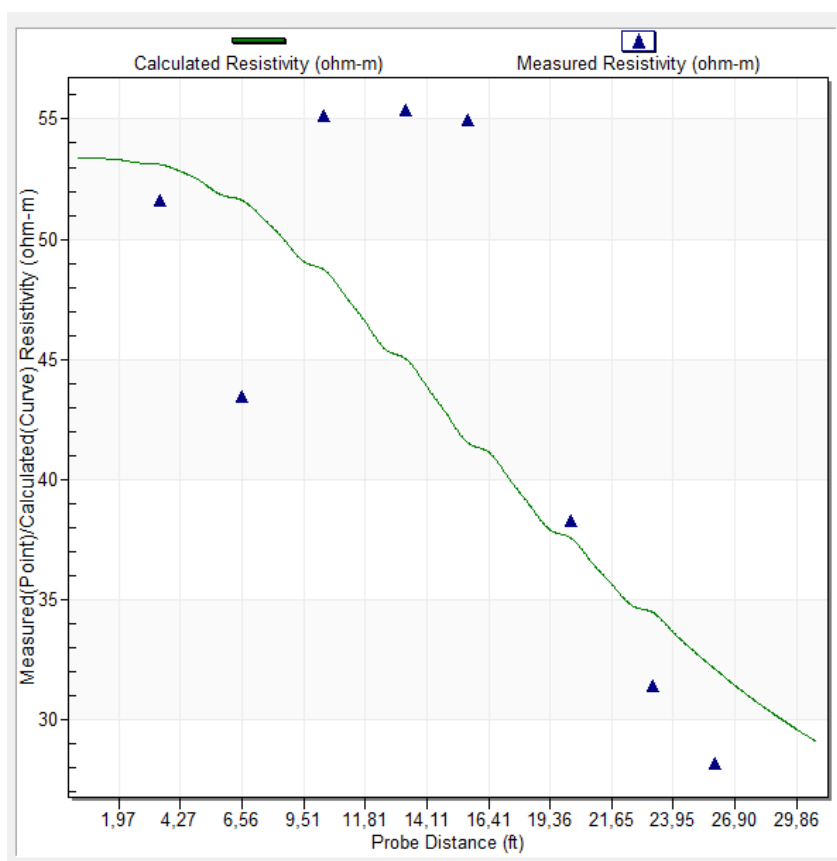


Figura 52. Grafica de curva de resistividad del terreno.

Fuente: Los autores

A continuación de ver agregado nuestros datos de resistividad se colocará en el editor de suelo nuestro material de superficie que va a ser piedra caliza limpia con un valor de resistividad de 2500 ohm-m, representado en la figura 53.

Info | Analysis

Resistivity ohm-m Material Depth ft

Surface Material: 2500 Clean limestone 0.5

User-Defined Calculated

Top Layer: 56.037 Moist soil 12.95

Lower Layer: 21.617 Moist soil

Help OK Cancel

Figura 53. Editor de suelo para el sistema de puesta a tierra.

Fuente: Los autores

Una vez introducidos los productos de resistividad se representará en la figura 54, el diagrama de resistividad del terreno.

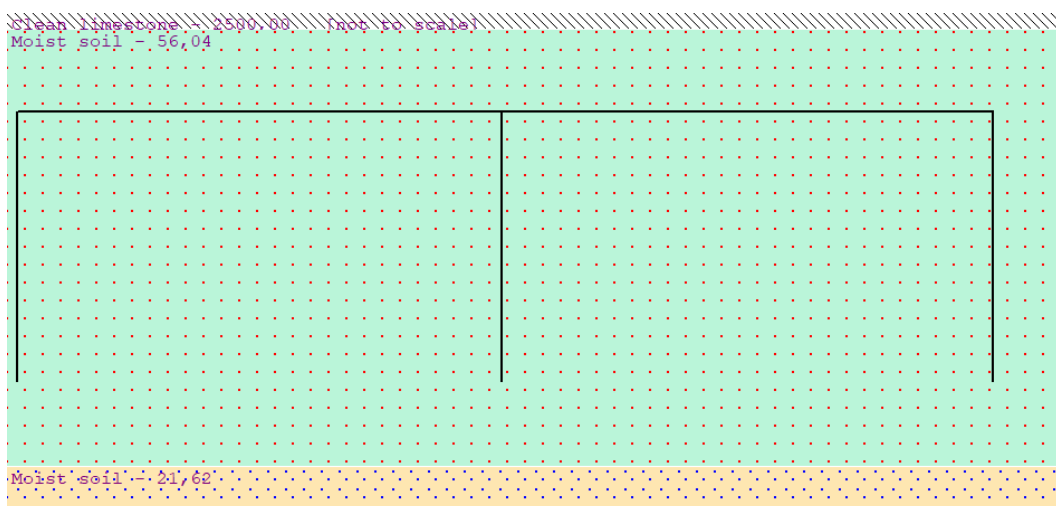


Figura 54. Diagrama de resistividad del terreno en estudio.

Fuente: Los autores

4.2.2. Análisis de Resultados Utilizando el Programa ETAP

Al concluir la simulación, se generan los resultados de las tensiones permitidas en la malla, así como las tensiones de paso y de toque. Estos valores se presentan en las figuras 55 correspondiente.

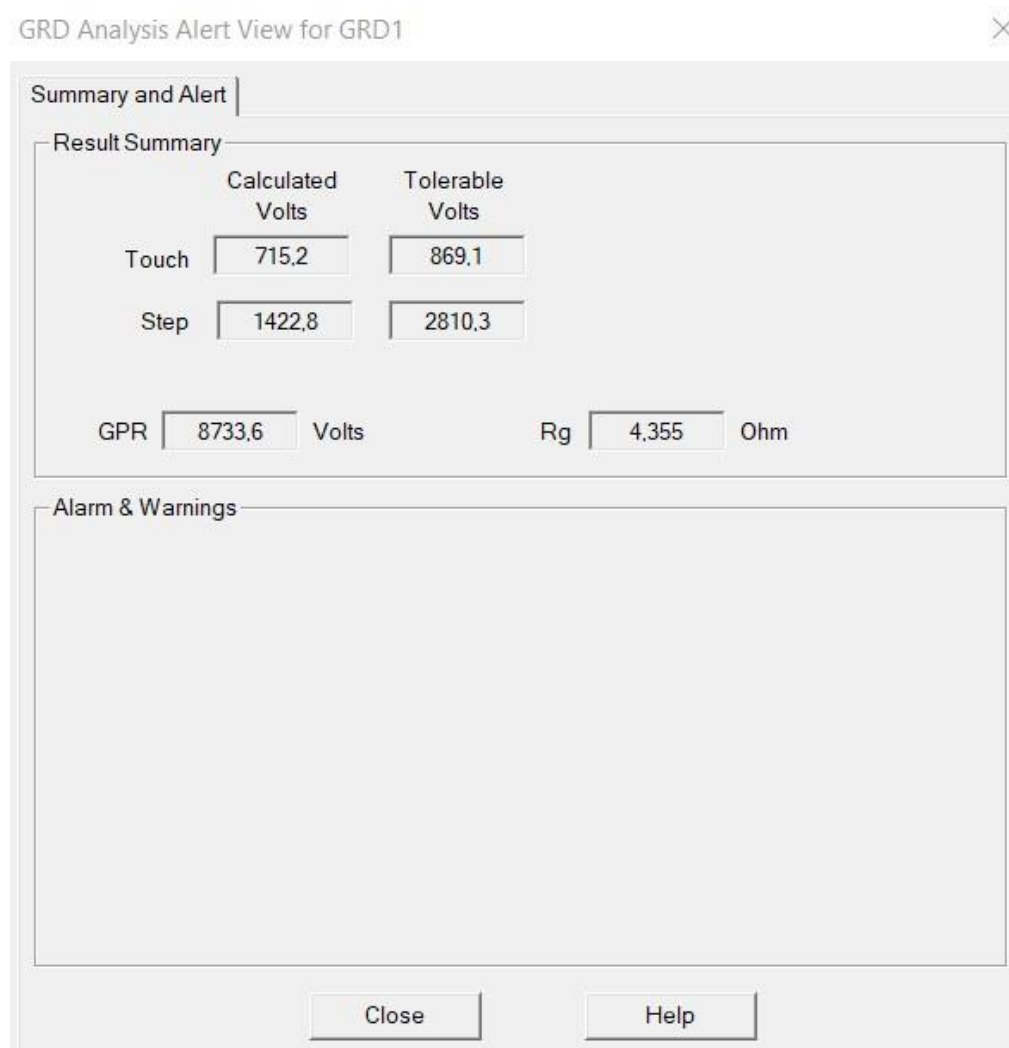


Figura 55. Valores de las tensiones de malla obtenidos mediante simulación.

Fuente: Los autores

Una vez simulados las tensiones se identificó disparidad en el voltaje de paso de la malla, el cual muestra una discrepancia significativa. Tras una revisión exhaustiva de los resultados obtenidos manualmente utilizando la metodología IEEE 80-2013, no se detectaron errores evidentes en los cálculos.

Por lo tanto, es posible que esta discrepancia se deba a la utilización de una metodología diferente para calcular la MPT en el software, o la modificación de los factores en las condiciones de simulación.

Otra observación es el espacio entre conductores dice que es inferior a 2.5 m o superior a 22.5 m esto es una alarma que nos da del sistema de puesta a tierra diseñado.

4.2.3. Análisis Comparativo de Tensiones de Paso Calculadas y Simuladas

El análisis comparativo de tensiones de paso y de contacto, tanto calculadas como simuladas que se presentara en la Tabla 18, es un componente crucial en la evaluación de la seguridad eléctrica de SPT. Esta comparación proporciona una visión detallada sobre la precisión de los resultados obtenidos mediante diferentes métodos de análisis.

Exploraremos los procesos de cálculo y simulación utilizados para determinar las tensiones de paso y de contacto, así como las posibles discrepancias entre los resultados obtenidos mediante ambos enfoques. Este análisis nos permitirá comprender mejor la efectividad y confiabilidad de cada método, así como identificar áreas de mejora en el desarrollo y la valoración del SPT.

Una vez hecha la comparación representada en la figura 55, observamos las posibles discrepancias entre los resultados obtenidos mediante ambos enfoques donde se evidencio que existe en la tensión de toque simulada en ETAP, su valor de voltaje es menor que el voltaje cálculo por las ecuaciones.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE CALCULO Y SIMULACIÓN CON ETAP				
Metodología	E_{paso}	E_{toque}	E_s	E_m
Calculado	2786.49 V	863.14 V	1681.44 V	787.60 V
ETAP	2810.3 V	1422.8 V	715.2 V	869.1 V

Tabla 18. Comparación de tensiones mediante cálculo y ETAP.

Fuente: Los autores

4.3. Plan de Mantenimiento del Sistema de Puesta a Tierra

Se recomienda una inspección visual anual, aumentada cada 5 años con una inspección exhaustiva realizada por un ingeniero calificado.

Inspección visual: Realizar una inspección visual del sistema de puesta a tierra para verificar si hay signos de daño, corrosión, conexiones sueltas o degradación física, signos de desgaste o deterioro en electrodos, conductores, abrazaderas y conexiones de unión.

Conexión de las varillas copperweld: Examinar la condición de los electrodos de tierra, como varillas, placas o rejillas de tierra. Asegúrese de que estén instalados de forma segura, libres de daños y unidos correctamente.

Prueba de resistencia de tierra: Medición de la resistencia de la tierra para asegurarse de que esté dentro de los límites aceptables. Esto se puede hacer utilizando un probador de tierra especializado o un medidor de resistencia de tierra. Verificar que el valor de resistencia cumpla con los requisitos establecidos por las normas y reglamentos pertinentes.

Pruebas de continuidad: Verifique la continuidad de los conductores de tierra realizando pruebas de continuidad. Esto ayuda a garantizar que no haya roturas ni conexiones sueltas en el SPT. Verificar la integridad de los conductores desde el SPT hasta los paneles principales y equipos.

Protección contra la corrosión: Evaluar la efectividad de las medidas de protección contra la corrosión para componentes de conexión a tierra, como electrodos y abrazaderas. Asegúrese de que existan recubrimientos adecuados o inhibidores de corrosión para evitar la degradación debido a la humedad y factores ambientales.

Medición de la humedad del suelo: Medir el contenido de humedad del suelo alrededor del sistema de puesta a tierra. El exceso de humedad o sequedad puede afectar la resistencia del suelo. Mantenga niveles adecuados de humedad del suelo para garantizar un rendimiento óptimo de la conexión a tierra.

Registros de mantenimiento: Mantener registros completos de todas las actividades de mantenimiento, incluidas inspecciones, pruebas y cualquier acción correctiva adoptada. Estos registros sirven como referencia para el mantenimiento futuro, rastrean el desempeño del sistema a lo largo del tiempo y ayudan en el cumplimiento de las regulaciones.

Cumplimiento de estándares: Asegurar que el sistema de puesta a tierra cumpla con los códigos, estándares y regulaciones con las normas IEEE. Mantener actualizado con cualquier cambio o actualización en los estándares para mantener un sistema de puesta a tierra seguro y compatible.

Simulacros de Emergencia: Realizar simulacros anuales en caso de una emergencia relacionada con el SPT ayudan a identificar posibles debilidades en los procedimientos de respuesta de emergencia y permiten implementar mejoras para garantizar una actuación adecuada en caso de una situación real.

Monitoreo Continuo: Implementar sistemas de monitoreo continuo de la resistencia de tierra es una capa adicional de seguridad y eficiencia en la gestión del SPT, contribuyendo a la prevención de fallas y mejorando la confiabilidad de las instalaciones eléctricas.

CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de este trabajo, se lograron validar varios parámetros teóricos y se pudieron extraer conclusiones significativas en relación con el análisis de este tipo de sistemas.

- En el proceso de mediciones de resistividad se observó que, al aumentar la separación entre las picas de medición, la resistividad del terreno disminuyó. Este fenómeno exhibe una relación inversamente proporcional. Se identificaron áreas de mejora y posibles deficiencias en el sistema existente, destacando la necesidad de implementar medidas correctivas para optimizar su rendimiento y cumplir con las normativas y estándares de seguridad eléctrica. Los valores medidos de resistencia de tierra se encuentran dentro de los límites establecidos por las normativas y estándares pertinentes, se puede concluir que la edificación cumple con los requisitos mínimos de seguridad eléctrica en lo que respecta al sistema de puesta a tierra, en caso de aumentar carga se debería mejorar el SPT.
- Mediante la implementación metódica de los procedimientos recomendados para la evaluación de los parámetros inherentes a un SPT, se determina que el estado presente del SPT en el edificio E de la UPS, campus Centenario, en la relación a los criterios eléctricos aceptables (resistencia de conexión a tierra, voltajes de paso y de contacto), se encuentra en un nivel operativo. Es importante destacar que esta evaluación representa la primera vez que se realiza sobre dicho sistema.
- La verificación minuciosa del SPT y su aprobación con las normativas eléctricas y de seguridad locales o sectoriales es fundamental para asegurar que la edificación cumpla con los estándares legales establecidos. Esto garantiza un entorno eléctricamente seguro para los ocupantes y reduce el riesgo de accidentes relacionados con la electricidad.
- La investigación puso de manifiesto la influencia significativa del suelo salino en la efectividad y durabilidad del SPT, subrayando la importancia de estrategias específicas para mitigar los efectos corrosivos y mantener la integridad del sistema en estas condiciones.

- Al examinar los voltajes de la malla de puesta a tierra (MPT) en comparación de las tensiones de toque y de paso permitidos, se verificó que se encuentran dentro de los márgenes definidos y efectúan con los requisitos estipulados en la normativa IEEE std. 80-2013. Este cumplimiento garantiza la seguridad eléctrica del sistema en relación con los riesgos de contacto y de paso.
- Tras realizar los cálculos de tensiones de paso y de contacto, tanto de valores reales como de tolerancia, procedimos a comparar estos resultados con la simulación llevada a cabo en ETAP. Podemos afirmar que el desempeño del SPT se mantiene dentro de los parámetros mínimos esperados bajo diferentes condiciones, conforme a los datos obtenidos tanto por cálculo como por simulación que permito validar el diseño del STP antes de su implementación física que, al corroborar los parámetros del sistema, se verifica la eficacia del diseño propuesto y se identifican posibles problemas o áreas de mejora.
- El mantenimiento regular del SPT ayudara a cumplir con los requisitos de seguridad establecidos por las normativa y estándares aplicables. Al mantener el sistema dentro de los parámetros mínimos especificados, se evitan posibles sanciones y se garantiza el cumplimiento de las regulaciones vigentes.
- Mediante la implementación de inspecciones periódicas y pruebas de mantenimiento, se pueden detectar y corregir problemas potenciales en el sistema de puesta a tierra antes de que se conviertan en fallas críticas. Esto permite abordar los problemas de manera proactiva y evitar interrupciones no planificadas en el suministro eléctrico.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere la participación en cursos de capacitación sobre SPT para obtener comprensión acerca de diversas técnicas de medición de resistividad o resistencia. Estos cursos también proporcionarán habilidades en el manejo adecuado de los nuevos instrumentos de medición disponibles en el mercado.
- Realizar estudios adicionales sobre el impacto específico del suelo salino en la eficacia del Sistema de Puesta a Tierra y explorar nuevas tecnologías o métodos de mitigación para contrarrestar los efectos corrosivos en estas condiciones.
- Mantener un diálogo abierto y una colaboración continua con expertos en seguridad eléctrica, autoridades reguladoras y otras instituciones educativas para compartir conocimientos, experiencias y mejores prácticas en el campo de la evaluación y mantenimiento del SPT.
- Es fundamental asegurarse de que las sales minerales o productos químicos elegidos para mejorar el terreno sean seguros para el medio ambiente y no causen corrosión en los componentes del sistema de puesta a tierra.
- Documentar detalladamente todas las mejoras realizadas en el Sistema de Puesta a Tierra y mantener registros actualizados de todas las inspecciones, pruebas y mantenimiento realizado, para facilitar la auditoría y el seguimiento de la eficacia del sistema a lo largo del tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] C. de INGENIERÍA AMBIENTAL, I. Alejandrina B., Gian marco Guerra y L. -Perú, “Reducción de la conductividad eléctrica en el suelo salino del AAHH Oropeza – Puente Piedra, mediante el uso de extracto de residuos orgánicos en el año 2021”, *Universidad Privada del Norte*, jul. 2022. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/31132>
- [2] C. De, I. J. Manuel, y S. Becheran, “UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL”, 2000.
- [4] T. Jesús y A. Morales Ramírez, “Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electricista Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica”, 2021.
- [5] “UPS SEDE QUITO: "DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA PARA PROTECCIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS INSTALADOS Y DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA LAS INSTALACIONES DE LA EMPRESA”.
- [6] R. DE Del SPT Del Edificio De Carrera De Electricidad y G. Quendi Magaly Milena, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”.
- [7] C. Prabhakar y R. A. Deshpande, “Evaluation of soil resistivity and design of grounding system for hydroelectric generating station in a hilly terrain - A case study”, *Proceedings of the 2014 International Conference on Advances in Energy Conversion Technologies - Intelligent Energy Management: Technologies and Challenges, ICAECT 2014*, pp. 104–107, 2014, doi: 10.1109/ICAECT.2014.6757070.
- [8] Z. Zhang, “Novel Method for Comprehensive Corrosion Evaluation of Grounding Device”, *IEEE Access*, vol. 8, pp. 72102–72111, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2985534.
- [9] “AE280 Sistema de puesta a tierra |”. Disponible en: https://likinormas.micodensa.com/Norma/acometidas_medidores/acometidas_electricas/ae280_conductor_neutro_acometidas_subterranas_baja_tension
- [10] Q. Ma, J. Xie, Z. Lu, L. Liu, X. Cao, y R. Li, “Analysis of grounding impedance spectrum based on CDEGS with different soil characteristics”, *2022 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Applications, ICHVE 2022*, 2022, doi: 10.1109/ICHVE53725.2022.9961482.
- [11] “SPT”. Disponible en: <http://www.proelectrica.net/blog/sistema-de-puesta-a-tierra.html>
- [12] A. Germán, S. Rodríguez, P. La Cruz, y J. De, “EVALUACIÓN DE LOS SPT Y PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DE LA ESTACIÓN DE REBOMBEO “2” (KM-52) DE PDVSA’ REALIZADO POR”.
- [13] “DESCARGAS ATMOSFERICAS... TEORIA Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA. Roberto Ruelas”. Disponible en: <https://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe50.html>

- [14] C. Editorial, “Sumario: Summary”, *Ingeniería Energética*, vol. 44, núm. 2, jul. 2023, Disponible en: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/857>
- [15] “¿Conoces los diferentes sistemas de puesta a tierra? | KINENERGY”. Disponible en: <https://www.kin.energy/blogs/post/%C2%BFconoces-los-diferentes-sistemas-de-puesta-a-tierra>
- [16] A. D. Paguay Gualotuña, “Diseño de SPT utilizando electrodos químicos: utilización de un modelo matemático basado en ecuaciones de varillas para la inclusión de electrodos activos en el diseño de SPT.”, 2023, Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/24206>
- [17] “POZOS A TIERRA -”. Disponible en: <https://redperuind.com/pozos-a-tierra/>
- [18] V. Henz Pintos, R. O. Galeano Velázquez, “Estudio comparativo de conductividad eléctrica en sistemas de puesta a tierra por tratamiento de suelo con elementos químicos.”, 2021. Disponible en: <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/892>
- [19] “Electrodo EP-QT Químico de Puesta a Tierra - PSP ENERGY”. Consultado: el 16 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://pspenergy.com.pe/portfolio/electrodo-ep-qt-quimico-de-puesta-a-tierra/>
- [20] J. Alejandro, “Diseño e instalación de redes internas, iluminación, SPT y apantallamiento en instalaciones eléctricas de media y baja tensión”, 2023, Disponible en: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/34809>
- [21] “Equipotencial y Toma de Tierra. Parte 2 de 2 | BauBioBlog .Disponible en: <https://baubiologers.wordpress.com/2015/09/07/equipotencial-y-toma-de-tierra-parte-2-de-2/>
- [22] “Componentes de un cable eléctrico | Top Cable”. Disponible en: <https://www.topcable.com/blog-electric-cable/componentes-de-un-cable-electrico/>
- [23] S. De Potencia, Y. Diseño, y D. E. Maquinarias, “UPS SEDE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍAS CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICA”.
- [24] J. P. Holman, J. de J. Vega Jiménez, y C. Roberto. Duarte Muñoz, “Métodos experimentales para Ingenieros”, 1981.
- [25] J. Antonio, E. Rocha, y L. Silvia González Valdés, “DISEÑO DE MATERIALES DE RESISTIVIDAD TERMICA MEDIA PARA CONSTRUCCIÓN DE OBRADORES EN LA CIUDAD DE DURANGO”.
- [26] “RESISTIVIDAD TÉRMICA: Thermal Resistivity Test. – Laboratorio de Geotecnia Orbis”. Disponible en: <https://laboratoriogeotecnico.com/laboratorio-de-geotecnia-y-materiales/enayos-de-resistividad-termica-thermal-test/>
- [27] “▷ Resistividad de rocas y minerales, [tablas] principios y ecuaciones”. Disponible en: <https://geologiaweb.com/geofisica/resistividad-rocas-minerales/>
- [28] U. DE Postgrado En Ciencias Del Transporte, I. Ronald Adolfo Chipana Torres Docente Tutor, y I. Marcelo Alfaro Santiago, “Relación entre la resistividad eléctrica y

- la resistencia a flexotracción en la elaboración de adoquines tipo doble 'S'.", 2019. Disponible en: <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/32472>
- [29] “¿Qué es la resistividad eléctrica? | Sondagua”. Disponible en: <https://www.sondagua.cl/blog/que-es-la-resistividad-electrica/>
- [30] C. Alberto y L. Oliva, “Estudio comparativo de métodos de medición de la resistividad del terreno y propuesta de protocolo de medición”.
- [31] “Medición Resistividad del Terreno”. Disponible en: <https://www.esolutions.co/component/virtuemart/medici%C3%B3n-resistividad-del-terreno-6-detail>
- [32] J. Bautista, P. De Maynas, B. W. Aspajo, N. Asesor, I. Ulises, y O. I. Cabrera, "RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL TERRENO Y CARACTERIZACIÓN DEL SUELO DE FUNDACIÓN DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA N° 60778, DISTRITO DE SAN”.
- [33] “SPT”. Disponible en: https://www.editores-srl.com.ar/autor/alberto_farina/20220221_sistema_de_puesta_a_tierra.html
- [34] “Red de tomas de tierra para estructura de hormigón del edificio con 90 m de conductor de cobre desnudo de 35 mm y 2 picas”.
- [35] “4.1.1.- Factores que influyen en la resistividad. | IEI05.- Montaje de las puestas a tierra.” Disponible en: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI05/es_IEA_IEI05_Contenidos/website_411_factores_que_influyen_en_la_resistividad.html
- [36] “4.- Partes de una instalación de SPT. | IEI05.- Montaje de las puestas a tierra. “Disponible en: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI05/es_IEA_IEI05_Contenidos/website_4_partes_de_una_instalacin_de_puesta_a_tierra.html
- [37] “CÓMO FUNCIONA EL SPT Y POR QUÉ ES IMPORTANTE”. Disponible en: <https://jdelectricos.com.co/sistema-de-puesta-a-tierra/>
- [38] “Tecnología Total | Ingeniería en Integridad y Corrosión, Suministros de Rectificadores, Protección Catódica”. Disponible en: <https://tecnologitotal.net/>
- [39] “Revista ElectroIndustria - Caída de potencial para la medida de resistencia de PT”. Disponible en: <https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3045&ni=caida-de-potencial-para-la-medida-de-resistencia-de-puesta-a-tierra>
- [40] “Método Wenner para medición de resistividad”. Disponible en: <https://www.ingenieriaelectrica.online/metodo-wenner-medicion-de-resistividad/>
- [41] “Comprobación de la impedancia del electrodo de conexión a tierra en edificios comerciales, industriales y residenciales | Fluke”. Disponible en: <https://www.fluke.com>

- [42] C. AL Javier Serrano Barrios Oscar Orlando Surio Guevara Para Optar Título De, “UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA”.
- [43] S. R. Quishpe Sacancela, “Diseño de una Mt para una subestación de distribución en condiciones de suelo extremas”, feb. 2016. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/14808>
- [44] E. W. D R, “MANUAL DE SPT”.
- [45] “Software ETAP”. Disponible en: <https://www.silvatech.com.ec/software-etap.html>
- [46] “Extraviado”. Disponible en: <https://qvm.cl/arriendo/telurometro-digital-megger-det4tc2-pinzas>
- [47] “BLOQUE E UPS - Google Maps”. Disponible en: <https://www.google.com/maps/place/BLOQUE+E+UPS/@-2.2204994,-79.8870532,105m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x902d6f602e11d9f7:0x951fa8a64ed07526!8m2!3d-2.2205262!4d-79.8869256!16s%2Fg%2F11j19rxjvc?entry=ttu>
- [48] M. De Usuario, “M DET3TA, DET3TC, DET3TD y DET4TD INSTRUMENTAL DE PRUEBA DE ELECTRODO DE TIERRA”.

ANEXOS**ANEXO 1. Medición de resistencia del terreno Norte a Sur****ANEXO 2. Medición de la resistencia del terreno Este a Oeste**

ANEXO 3. Medida de resistencia de terreno



ANEXO 3. Visualización de electrodo químico con corrosión



ANEXO 4. Visualización de SPT en cuarto de transformadores



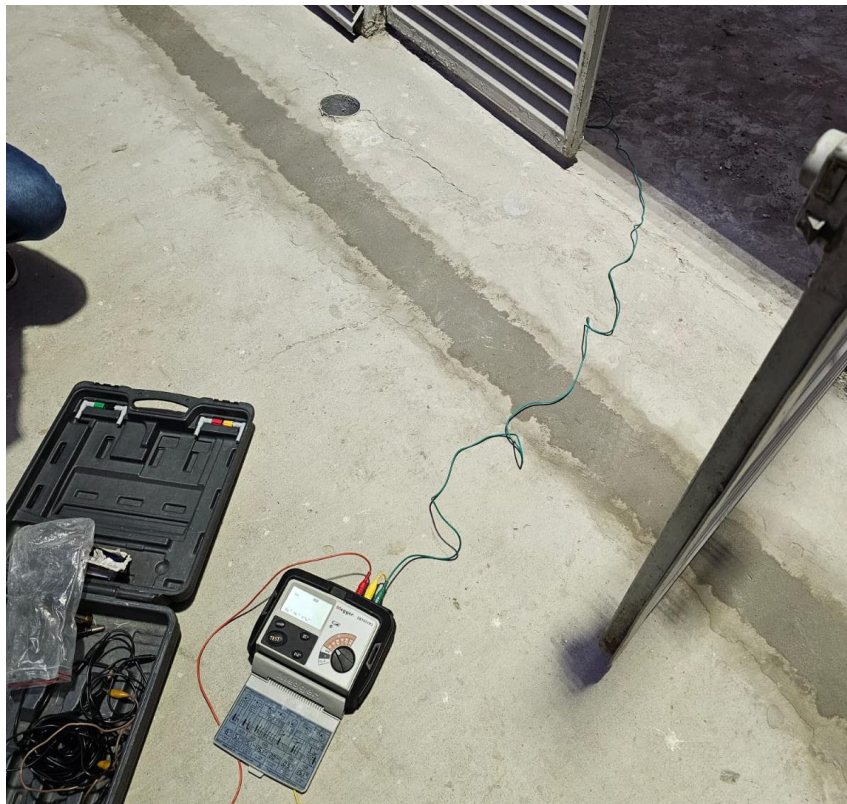
ANEXO 5. Medición de electrodo químico



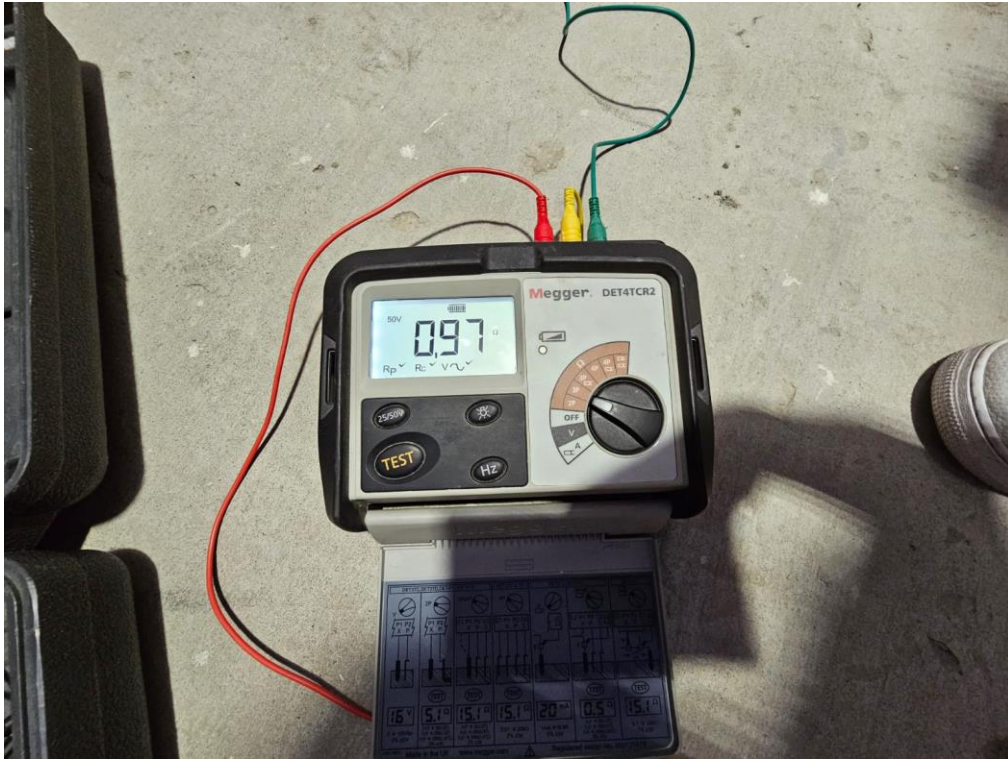
ANEXO 6. Valor de resistencia de electrodo químico



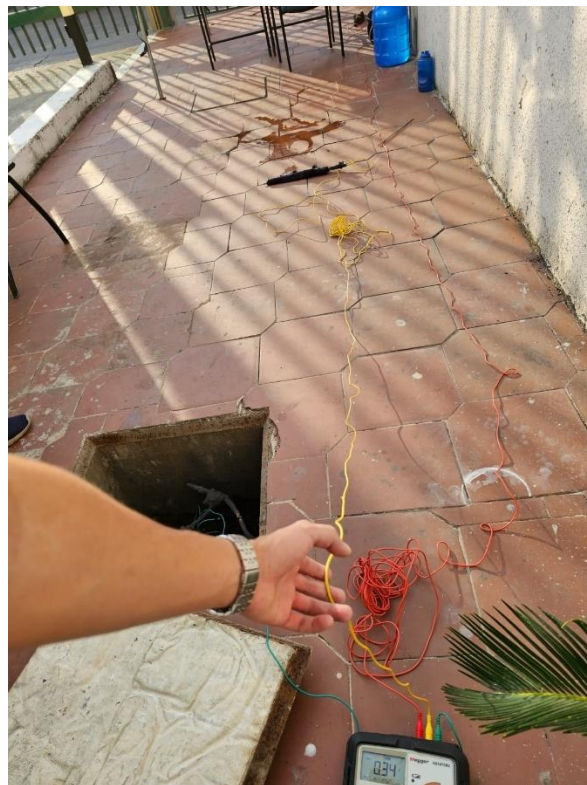
ANEXO 7. Toma de medición del SPT



ANEXO 8. Valor de resistencia del SPT



ANEXO 9. Prueba de medición de telurómetro con trapos mojados



ANEXO 10. Transformador que se encuentra en el Bloque E



ANEXO 9. Plano eléctrico del Bloque E

