



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
EXTENSIÓN LA MANÁ

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA LOS
LABORATORIOS DEL BLOQUE B DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del título de
Ingeniero Electromecánico

AUTORES:

Abrigo Vivas Jason Enrique
Enríquez Toro Cristian Fernando

TUTOR:

MSc. Pazuña Naranjo William Paul

LA MANÁ-ECUADOR
AGOSTO-2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros: Abrigo Vivas Jason Enrique y Enríquez Toro Cristian Fernando declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA LOS LABORATORIOS DEL BLOQUE B DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ”, siendo el MSc. Pazuña Naranjo William Paul, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Abrigo Vivas Jason Enrique
C.I: 125108030-3



Enríquez Toro Cristian Fernando
C.I: 190088539-1

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA LOS LABORATORIOS DEL BLOQUE B DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ” de Abrigo Vivas Jason Enrique Y Enríquez Toro Cristian Fernando de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del tribunal de validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, agosto del 2023



MSc. Pazuña Naranjo William Paul
C.I: 050333859-2
TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA por cuanto el postulante Abrigo Vivas Jason Enrique Y Enríquez Toro Cristian Fernando con el título de proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA LOS LABORATORIOS DEL BLOQUE B DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

La Maná, agosto del 2023

Para constancia firman:



Ing. Romero Bedon Freddy Rodrigo M.Sc.
C.I: 050349964-2
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Guilcaso Molina Cristian Orlando M.Sc.
C.I: 050306670-6
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Morales Tamayo Yoandrys M.Sc.
C.I: 175695879-7
LECTOR 3 (SECRETARIO)

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por concederme la vida y todo lo brindado para poder llegar hasta este momento y poder recordar el cómo llegue hasta hoy. Con la mejor gratitud en los esfuerzos realizados para que yo lograra culminar con mi carrera.

A mi querida madre que es el ser más extraordinario de todo el mundo, gracias por el apoyo moral, tu afecto y comprensión que desde muy pequeño me has sabido brindar, por enseñarme el camino correcto a seguir y estar conmigo en los momentos más difíciles profesional.

Jason & Cristian

DEDICATORIA

Dios ha sido quien me ha guiado él es mi inspiración en todo lo que hago, y ahora más que nunca no será la excepción, esto va dedicado primero hacia él, porque por el me encuentro donde hoy en día estoy.

En gran muestra de afecto y eterno agradecimiento, por el inmenso amor y todo el apoyo brindado, y también porque veo llegar unas de mis metas en esta vida, agradezco por el camino que siempre me ha otorgado. Gracias.

A mis maestros y maestras que me impartieron sus conocimientos y así poner un granito de arena para darme una superior formación académica.

Jason & Cristian

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA LOS LABORATORIOS DEL BLOQUE B DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ”

Autores: Abrigo Vivas Jason Enrique

Enríquez Toro Cristian Fernando

RESUMEN

Este proyecto se basa en un estudio por medio del telurómetro en diferentes áreas alrededor de los laboratorios perteneciente a la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná. Este tipo de sistemas de puesta a tierra como todo elemento desarrolla una función están expuestos a sufrir deterioro por el pasar del tiempo o por factores de corrosión esto puede ocasionar que no tenga un correcto funcionamiento, esto indica que es de vital importancia tener este tipo de sistemas de puesta a tierra ya que nos garantiza una mejor vida útil de nuestros equipos eléctricos y electrónicos también proporciona una mejor seguridad a las personas que se encuentran en el área.

Se concluyo que el resultado de la resistencia total de la malla es de 8.861×10^{-6} un valor idóneo para la aplicación de este sistema ya que de acuerdo a la normativa NEC en el apartado 250-56 En instalaciones con equipos sensibles, debería ser de 5,0 Ohmios o menos, Es evidente la importancia de proponer este tipo de sistema de implementación acompañada con el equipo necesario para poder realizar una buena toma de datos en diferentes pruebas y áreas dentro de las instalaciones del bloque B, transmitir de la manera más conveniente y eficaz la información que se obtenga.

Palabra clave: Resistencia; resistividad, dimensión.

ABSTRACT

This project is based on a study by means of the tellurometer in different areas around the laboratories belonging to the Technical University of Cotopaxi in La Maná. This type of grounding system as any element that develops a function is exposed to deterioration throughout time or corrosion factors this can cause improper functioning, this indicates that it is vital to have this type of grounding system as it guarantees a better life of our electrical and electronic equipment; also provides better security for people who are in the area.

It was concluded that the result of the total resistance of the mesh is 8.861×10^{-6} a suitable value for the application of this system according to NEC regulations in section 250-56. In installations with sensitive equipment, it should be 5.0 Ohms or less, It is evident the importance of proposing this type of implementation system accompanied with the necessary equipment to perform good data collection in different tests and areas within the facilities of Block B, transmitting the most convenient and effective way the information obtained.

Keywords: Resistance; resistivity, dimension.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. RESUMEN DEL PROYECTO	3
4. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	4
5. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	5
5.1. Beneficiarios Directos	5
5.2. Beneficiarios Indirectos	5
6. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	6
6.1. Planteamiento del problema	6
6.2. Delimitación del problema	6
7. OBJETIVOS.....	7
7.1. Objetivo general	7
7.2. Objetivos específicos.....	7
8. ACTIVIDADES EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS.....	8
9. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	9
9.1. Consideraciones básicas de la resistividad eléctrica.....	9
9.2. Definición eléctrica de resistividad	9
9.3. Características lineal y no lineal de la resistividad.....	10
9.4. Relación entre resistividad y resistencia.....	12
9.5. Resistividad del terreno	13
9.6. Elementos que influyen en la resistividad del terreno	14

9.7.	Naturaleza del terreno.....	15
9.8.	Humedad.....	16
9.9.	Temperatura del terreno	17
9.10.	Salinidad del terreno	18
9.11.	Estratigrafía del terreno	19
9.12.	Variaciones estacionales y del medio ambiente	21
9.13.	Factores de naturaleza eléctrica.....	21
9.13.1.	Gradiente de potencial	22
9.13.2.	Magnitud de la corriente de defecto a tierra	22
9.13.3.	Deterioro de los electrodos o del conjunto de puesta a tierra	22
9.14.	Factores de naturaleza química.....	22
9.14.1.	Efecto del PH.....	22
9.14.2.	Potencial red-ox	23
9.15.	Compactación	24
9.16.	Comportamiento eléctrico del suelo	24
9.17.	Características de los suelos	24
9.18.	La conducción eléctrica del suelo.....	24
9.19.	Definición	25
9.19.1.	El sistema de puesta a tierra (GPS):	25
9.19.2.	El suelo:	26
9.19.3.	La conexión eléctrica con el suelo:.....	26
9.19.4.	Las corrientes eléctricas:	26
9.19.5.	Conexión a tierra:	26
9.19.6.	Tierra (Ground o Earth):.....	26
9.19.7.	Conductor del electrodo de puesta tierra (Grounding Electrode Conductor):.....	26
9.19.8.	Resistividad del suelo:	27
9.19.9.	Resistividad aparente:.....	27
9.19.10.	Resistencia mutua de electrodos:.....	27
9.19.11.	Potencial eléctrico:	27
9.19.12.	Tierra remota:	27
9.19.13.	Bajante a tierra:.....	28
9.19.14.	Conexión a tierra:	28
9.19.15.	Ampacidad:.....	28
9.19.16.	Conservación:	28

9.19.17. Ground potential rise (GPR):.....	28
9.19.18. Inspección de las instalaciones eléctricas:.....	28
9.19.19. Malla conectada a tierra:	28
9.19.20. Master Ground Bar (MGB):	29
9.19.21. Personal calificado:	29
9.19.22. Resistencia Base (Footing Resistance):.....	29
9.19.23. Soldadura exotérmica:	29
9.19.24. Varilla a tierra:.....	29
9.19.25. Voltaje de toque:.....	29
9.19.26. Voltaje de paso:	29
9.20. Motivos para poner a tierra materiales conductores que albergan conductores	30
9.21. Tierra física.....	30
9.21.1. Tipos de sistema de tierra	31
9.22. ¿Qué es una conexión efectiva a tierra?	35
9.23. Funciones de una Malla de Puesta a Tierra	36
9.24. Requisitos de una Malla a Tierra.....	37
9.25. Sistema electrodo de tierra	38
9.25.1. Funciones del electrodo de Tierra	39
9.25.2. La varilla de Tierra	40
9.25.3. Unión de los electrodos de tierra	41
9.25.4. Estructura metálica del edificio como electrodo de tierra	42
9.25.5. Electrodo incrustado en concreto	42
9.25.6. Anillo de tierra como electrodo de tierra.....	43
9.25.7. Electrodos artificiales o fabricados especialmente para la puesta a tierra.....	43
9.25.8. La Barra Electrolítica o Química.....	45
9.26. Resistividad del suelo	46
9.26.1. Definición de Resistividad	47
9.26.2. Conducción Eléctrica en Suelos	47
9.26.3. Anisotropía de Resistividad.....	48
9.27. Causas de la corrosión	48
9.27.1. Heterogeneidad del metal	49
9.27.2. Pares galvánicos	50
9.27.3. Estructuras oxidadas y otras	50
9.28. Heterogeneidad del electrolito	50

9.28.1. Aireación diferencial	50
9.28.2. Pilas geológicas	51
9.28.3. Corrosión bacteriana.....	51
9.29. Mejoramiento del terreno.....	51
9.29.1. Métodos químicos de relleno.....	52
10. VALIDACIÓN DE PREGUNTAS CIENTÍFICA O HIPÓTESIS	53
11. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	54
11.1. Investigación bibliográfica	54
11.2. Investigación experimental.....	54
11.3. Localización	54
11.4. Tipos de investigación.....	55
11.4.1. Investigación bibliográfica	56
11.4.2. Investigación aplicada tecnológica.....	56
11.4.3. Investigación descriptiva	56
11.5. Técnicas e instrumentos	56
11.6. Telurómetro SEW 4235 ER.....	57
11.6.1. Funcionamiento del Telurómetro SEW 4235ER.....	57
11.6.2. Esquema simplificado de un telurómetro	57
12. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	58
12.1. Normativa de referencia para puestas a tierra	58
12.1.1. IEEE Std 80 apartado 2000	58
12.1.2. Art. 14.3 Ecuaciones de Schwarz	59
12.1.3. REGLAMENTO DE SEGURIDAD NEC	59
12.1.4. Reglamento de seguridad técnico de instalaciones eléctricas (RETIE)	63
12.1.5. Otras publicaciones	64
12.2. Diseño y calculo de la malla de puesta a tierra.....	64
12.2.1. Modelo del Suelo.....	64
12.2.2. Modelo del suelo a dos capas	65
12.3. Cálculos de la malla de puesta a tierra	74
12.3.1. Resistividad de diseño	74
12.3.2. Resistencia del electrodo	74
12.3.3. Resistencia de electrodos en paralelo	75
12.3.4. Resistencia del conductor de la malla	76
12.3.5. Resistencia mutua	76

12.3.6. Resistencia total de la malla	77
13. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)	78
13.1. Impacto técnico.....	78
13.2. Impacto social.....	78
14. PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	79
15. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
15.1. Conclusión.....	80
15.2. Recomendaciones	80
16. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	81
17. ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fuerzas Libres De Un Conductor.....	10
Figura 2. Variación De La Resistividad Con La Temperatura Para Tres Conductores.....	12
Figura 3. Variación De La Resistividad En Función De La Humedad Del Terreno.....	17
Figura 4. Variación De La Resistividad Del Terreno En Función De La Temperatura.....	18
Figura 5. Variación De La Resistividad Del Terreno En Función De La Salinidad.....	19
Figura 6. Resistencia De La Superficie Del Terreno.....	20
Figura 7. Variación De La Resistividad Del Terreno A Lo Largo Del Año.....	21
Figura 8. Relleno De Lynconita Alrededor Del Electrodo.....	52
Figura 9. Relleno Circular Al Electrodo.....	53
Figura 10. Universidad Técnica De Cotopaxi Extensión La Maná.....	55
Figura 11. Ubicación.....	55
Figura 12. Esquema Simplificado De Un Telurómetro.....	57
Figura 13. Primera Prueba, Medición – Resistividad vs Distancia.....	67
Figura 14. Segunda Prueba, Medición – Resistividad vs Distancia.....	67
Figura 15. Tercera Prueba, Medición – Resistividad vs Distancia.....	68
Figura 16. Cuarta Prueba, Medición – Resistividad vs Distancia.....	69
Figura 17. Quinta Prueba, Medición – Resistividad vs Distancia.....	69
Figura 18. Sexta Prueba, Medición – Resistividad vs Distancia.....	70
Figura 19. Séptima Prueba Después De Los Aditivos, Medición – Resistividad.....	71
Figura 20. Octava Prueba Después De Los Aditivos, Medición – Resistividad vs Distancia..	72
Figura 21. Novena Prueba Después De Los Aditivos, Medición – Resistividad vs Distancia.	72
Figura 22. Comparativa De Todas Las Mediciones Realizadas.....	73
Figura 23. Diseño Del Instrumento.....	89
Figura 24. Salidas De Puntas.....	90
Figura 25. Mediciones De Resistencia A Tierra.....	91
Figura 26. Mediciones De Resistencia A Tierra.....	92
Figura 27. Telurómetro, Cambio De Baterías.....	94
Figura 28. Cambio De Baterías.....	95
Figura 29. Preparación Del Terreno / Cavidad Para Las Barras Copperweld.....	98
Figura 30. Colocación De Las Barras / Nivelación De Las Barras Copperweld.....	98
Figura 31. Guías para los auditores / Aplicación de aditivos.....	99
Figura 32. Nivelación de la graba / Tapado de aditivos.....	99

Figura 33. Desmontaje de maleza / Canal de aditivos.....	100
Figura 34. Toma de lecturas en el terreno / Toma de lecturas en el terreno.....	100
Figura 35. Lectura del Telurómetro / Toma de lecturas en el terreno	101
Figura 36. Iniciando lectura / Verificación de las lecturas	101
Figura 37. Lectura de resistividad sin aditivos / Lectura de resistencia sin aditivos.....	102
Figura 38. Lectura de resistividad con aditivos / Lectura de resistencia con aditivos	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios Estudiantes De La Carrera De Electromecánica Y Agroindustrias	5
Tabla 2. Beneficiarios Docente De La Carrera De Electromecánica	5
Tabla 3. Actividades Y Sistemas De Tareas En Relación A Los Objetivos	8
Tabla 4. Resistividad Según El Tipo De Terreno.....	15
Tabla 5. Naturaleza Del Terreno.	16
Tabla 6. Relación Entre El Ph Y La Corrosividad.	23
Tabla 7. Relación Entre El Potencial Red-Ox Y La Corrosividad.	23
Tabla 8. Resistividades Referenciales De Aguas Naturales Genéricas.	25
Tabla 9. Potenciales electroquímicos normales de algunos metales expresados en voltios.....	49
Tabla 10. Técnica E Instrumentos	56
Tabla 11. Mediciones De Resistencia Del Suelo A Distintas Distancias.....	65
Tabla 12. Mediciones De Resistencia Del Suelo A Distintas Distancias.....	66
Tabla 13. Mediciones De Resistencia Del Suelo A Distintas Distancias.....	66
Tabla 14. Factor F Por Números De Electrodo.....	75
Tabla 15. Presupuesto Del Proyecto.....	79
Tabla 16. Especificaciones.	88

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“Implementación de un sistema de puesta a tierra para los laboratorios del bloque B de Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná”

Fecha de inicio:

abril del 2023

Fecha de finalización:

agosto del 2023

Lugar de ejecución:

Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná

Unidad académica que auspicia:

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia:

Ingeniería Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado:

La transferencia tecnológica sustentable como eje fundamental para el desarrollo socio económico y la vinculación social

Equipo de trabajo:

Tutor del Proyecto:

MSc. Pazuña Naranjo William Paul

Postulantes:

Abrigo Vivas Jason Enrique

Enriquez Toro Cristian Fernando

Área de conocimiento:

Ingeniería, Industria y Construcción

Línea de investigación:

Procesos Industriales

Sub líneas de investigación:

Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos

2. INTRODUCCIÓN

En el actual apartado se desarrolla la metodología para la delineación de una malla de puesta a tierra aplicando todos los aspectos normativos, los reglamentos de seguridad e información indispensable para la delineación y construcción de sistema de malla conectadas a tierra para la correcta protección de las personas, equipos y estructuras, de los riesgos ocasionados por las fallas de un sistema eléctrico.

Los pasos adecuados para poder diseñar sistemas de tierra están basados en conceptos tradicionales, pero su aplicación suele ser extremadamente compleja. Los conceptos son ciencia, pero su aplicación adecuada es una destreza, y cada procedimiento de instalación es diferente y única en su ubicación, modelo del suelo, y equipos a proteger.

La intención que se encamina con la aplicación de los sistemas de puesta a tierra es:

1. Protección para la persona operativa.
2. Protección de instalaciones y equipos frente a tensiones peligrosas.
3. Al proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de estas corrientes, evitar posibles discrepancias entre los distintos emplazamientos de la instalación durante la circulación de las faltas a tierra.
4. Cumplimiento de las leyes y normas de conducta vigentes.

Las tensiones que existen tanto dentro como fuera de una subestación están influidas por una serie de factores. La corriente de falta, la duración de la falta, la resistividad del suelo, el tipo de grava y la configuración de la malla son algunas de estas variables.

3. RESUMEN DEL PROYECTO

Este trabajo presenta principalmente la influencia del suelo en el funcionamiento de todos los sistemas eléctricos, identificándolo con la tierra, cuya infinita capacidad de recepción, conducción y dispersión de corrientes eléctricas permite atribuirle la necesaria referencia de potencial cero, a través de la cual se pueden cerrar circuitos de evacuación, concentraciones de carga o sucesos de corriente, garantizando la seguridad de personas, animales y dispositivos de baja, media y alta tensión.

En consecuencia, el modelo básico para su aplicación considera en un primer momento al suelo como un medio homogéneo que reproduce los fenómenos del campo eléctrico conservativo, el principio de la caída de potencial para las mediciones directas de las resistividades de campo (realizadas en el presente trabajo) en condiciones predefinidas. resistencias de dispersión y resistencias de tacto y rozamiento.

La puesta a tierra es necesaria para mantener el potencial de los objetos al mismo nivel de tierra porque la resistencia de un electrodo de tierra, medida en ohmios, controla la rapidez y el potencial con que se iguala la energía. Además de minimizar el riesgo de descarga eléctrica por tensión, el conductor de puesta a tierra debe funcionar para transportar toda la corriente de la falta a tierra (en magnitud y duración).

4. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Considerando el área del bloque B como un foco de crecimiento en los laboratorios en los años venideros, es de suma importancia conocer las características del terreno para la instalación debido al inminente crecimiento de nuevos edificios, es muy posible dar una guía de procesos para el diseño y elaboración del sistema de puesta a tierra. que facilite su dimensionamiento y tome acciones preventivas en los equipos eléctrico y electrónicos ya que el cantón La Maná es un lugar muy propenso a tormentas eléctricas las cuales incurre de manera negativa en los equipos instalados dentro del bloque B.

Debido a la falta de características del suelo del lugar mencionado, es necesario obtener los valores de resistividad y resistencia del terreno donde se implementará el sistema de puesta a tierra.

5. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

5.1. Beneficiarios Directos

Los beneficiarios directos del proyecto que fortalecerá los conocimientos prácticos en las puestas a tierra y seguridad en los equipos eléctricos y electrónicos serán los estudiantes de la carrera de electromecánica Agroindustrias de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná.

Tabla 1.

Beneficiarios Estudiantes de la Carrera de Electromecánica y Agroindustrias

Hombres	Mujeres	Total
198	14	212

Nota. Elaborado por los autores

5.2. Beneficiarios Indirectos

Los beneficiarios indirectos del proyecto utilizarán el telurómetro para compartir sus enseñanzas son los docentes de la Carrera Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná.

Tabla 2.

Beneficiarios Docente De La Carrera De Electromecánica

Hombres	Mujeres	Total
9	X	9

Nota. Elaborado por los autores

6. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

6.1. Planteamiento del problema

En los laboratorios de electromecánica y agroindustrias de la Universidad Técnica De Cotopaxi Extensión La Maná, no existen estudios a base de telurómetro para la dimensión de puestas a tierra y realizar una correcta instalación y así poder evitar daños en los equipos eléctricos y electrónicos existentes en los laboratorios, lo cual es de suma importancia contar con este tipo de herramienta, con el fin de asegurar la vida útil y el funcionamiento óptimo de los diferentes equipos.

6.2. Delimitación del problema

A pesar de que este tipo de tecnología existe hace varios años, actualmente en la universidad no se cuenta con este tipo de herramienta para las lecturas de resistencia y resistividad del suelo, ya que se podrá utilizar en una infinidad de espacios. El telurómetro combina una serie de fórmulas para poder medir la resistencia y resistividad de lugar en tiempo real. Es profesional, precisa y eficiente. Por esto el propósito de nuestro proyecto se encuentra basada en la implementación de una puesta a tierra que nos ayudara a fluir la energía hacia el suelo y evitar futuros daños en los equipos eléctricos, electrónicos y en si la misma instalación eléctrica en los laboratorios de electromecánica y agroindustria de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Mana.

7. OBJETIVOS

7.1. Objetivo general

- Implementar un sistema normalizado de puesta a tierra en los laboratorios del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná.

7.2. Objetivos específicos

- Determinar la resistividad de los suelos con el equipo de medición respectivo en diferentes sitios del área.
- Obtener las resistencias de puesta a tierra de los lugares analizados y requeridas para el diseño y construcción de la puesta a tierra normalizadas, con las respectivas justificaciones técnicas.
- Implementación del sistema de puesta a tierra en los laboratorios del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná.

8. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS.

Tabla 3.

Actividades Y Sistemas De Tareas En Relación A Los Objetivos

Objetivos	Actividades	Resultados de las actividades	Descripción (técnicas e instrumentos)
Determinar la resistividad de los suelos con los equipos de medida respectivos en diferentes sitios del área.	Utilización del telurómetro para examinar el suelo.	Obtención de los resultados para los respectivos cálculos y tabulaciones.	Se utilizo el telurómetro para obtener la resistividad del suelo.
Obtener las resistencias de puesta a tierra de los lugares analizados, requeridas para el diseño y construcción de puestas a tierra normalizadas, con las respectivas justificaciones técnicas.	Utilización del telurómetro para examinar el suelo	Obtención de los resultados para los respectivos cálculos y tabulaciones.	Se utilizo el telurómetro con las 4 picas en diferentes sitios
Ejecutar el sistema de puesta a tierra en los laboratorios del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná.	Realizamos los cálculos utilizando las lecturas obtenidas del telurómetro.	Calculo adecuado para la correcta instalación de la puesta a tierra he instalación de la puesta a tierra	Se utilizo el telurómetro con las picas en diferentes medidas para sus respectivas lecturas para su correcta instalación

Nota. Elaborado por los autores

9. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.

9.1. Consideraciones básicas de la resistividad eléctrica

La resistividad es el número físico que mide la resistencia de un cuerpo o material al paso de la corriente eléctrica; además, es una constante que depende de la naturaleza de la sustancia examinada y sólo registra alteraciones con los cambios de temperatura.

En consecuencia, la resistividad es una característica de los materiales que pueden actuar como conductores. Semiconductores o aislantes; así, si la sustancia es un conductor perfecto, tendrá una resistencia nula, y si es un aislante perfecto, tendrá una resistividad infinita. También cabe señalar que la resistividad está inversamente relacionada con la conductividad eléctrica de estos materiales, lo que constituye otro atributo de la materia.

Las resistividades más bajas corresponden a los metales y aleaciones, que son los mejores conductores, mientras que los aislantes superan a los primeros en una proporción de 10^{22} .

Es posible confinar las corrientes eléctricas a rutas bien definidas a través de buenos conductores eléctricos utilizando aislantes, pero es imposible contener las corrientes térmicas en un grado comparable. Los metales son los mejores conductores térmicos como grupo; las conductividades eléctrica y térmica de los metales, así como sus resistividades relativas, están relacionadas sobre todo con los electrones libres. Los semiconductores, por su parte, son una clase intermedia entre los metales y los aislantes.

Los aislantes no son importantes por su resistividad, sino por cómo reaccionan a la temperatura y a pequeños niveles de contaminantes.

9.2. Definición eléctrica de resistividad

La intensidad del campo eléctrico E y la naturaleza del conductor influyen en la intensidad de corriente por unidad de sección transversal recta, o densidad de corriente J , en un conductor. La resistividad de un conductor, denotada por la letra griega, se define por tanto como la relación entre la intensidad del campo eléctrico y la densidad de corriente como se muestra en la ecuación 1:

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Ecuación 1

En consecuencia, la resistividad se define como la intensidad de campo eléctrico por unidad de densidad de corriente. Cuanto mayor sea la resistividad, mayor será la intensidad de campo eléctrico necesaria para alcanzar una densidad de corriente dada; o, a la inversa, menor será la densidad de corriente para una intensidad de campo eléctrico dada. La unidad es el ohmímetro, que se definirá más adelante.

9.3. Características lineal y no lineal de la resistividad

De la ecuación se deduce que $E = \rho \cdot J$ y, dado que los vectores E y J

tienen el mismo sentido, la ecuación anterior puede escribirse en forma vectorial:

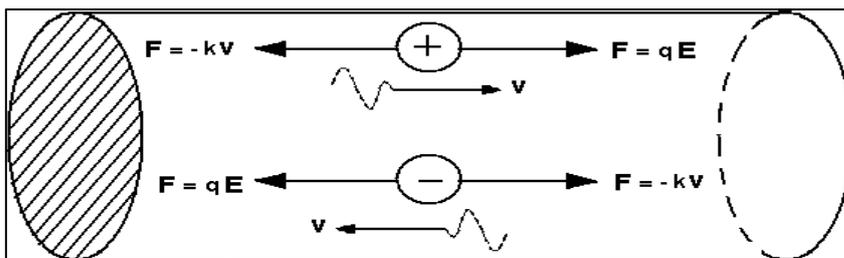
Hay que observar que la ecuación no siempre implica que la resistividad sea constante, es decir, que la densidad de corriente J sea exactamente proporcional a E , es decir, que el campo eléctrico sea una función lineal de la resistividad.

Sin embargo, para muchas sustancias conductoras, en particular los metales, es una constante independiente de E a una temperatura dada, de modo que, si E se duplica, por ejemplo, la densidad de corriente también se duplica. La Ley de Ohm debe su nombre al alemán G. S. Ohm (1789-1854), quien descubrió que, a una temperatura dada, es una constante para un conductor metálico. Un conductor óhmico o conductor lineal es una sustancia que obedece esta ley; en caso contrario, el conductor se conoce como conductor no lineal. [1]

Así pues, la ley de Ohm se refiere en la figura 1 a una propiedad específica de determinadas sustancias y no a una cualidad genérica de todo.

Figura 1.

Fuerzas Libres De Un Conductor. [3]



Nota. Fuente [3], elaborado por los autores

Las fuerzas libres del conductor de la figura anterior se mueven con una velocidad de arrastre constante tal que la fuerza retardadora o efectiva de viscosidad, es igual y opuesta a la fuerza impulsora.

En función de los parámetros del modelo de la Fig., la resistividad de un material puede representarse como sigue: Suponiendo que k es la fuerza de viscosidad efectiva por unidad de velocidad, y $f = -k \cdot v$. $F = q \cdot E$ es la fuerza impulsora, y donde v es la velocidad límite, se tiene en la ecuación 2:

Ecuación 2

$$F + f = 0, \quad q \cdot E = k \cdot v, \quad E = \frac{k \cdot v}{q}$$

La densidad de corriente para el caso en que solo hay presente un tipo de carga portadora es $J = nq \cdot v$, donde n es el número de partículas por unidad de volumen.

Si k y n son constantes, la resistividad también lo es y se cumple la ley de Ohm. Como se ve en la figura, la resistividad de todos los conductores metálicos aumenta al aumentar la temperatura. No existe una explicación completamente buena para explicar este efecto, que parece estar causado por un aumento de la probabilidad de colisiones entre los iones metálicos y los portadores de carga a medida que la vibración térmica de los iones aumenta con la temperatura. El coeficiente efectivo de viscosidad k de la ecuación aumenta, lo que incrementa la resistencia. [1]

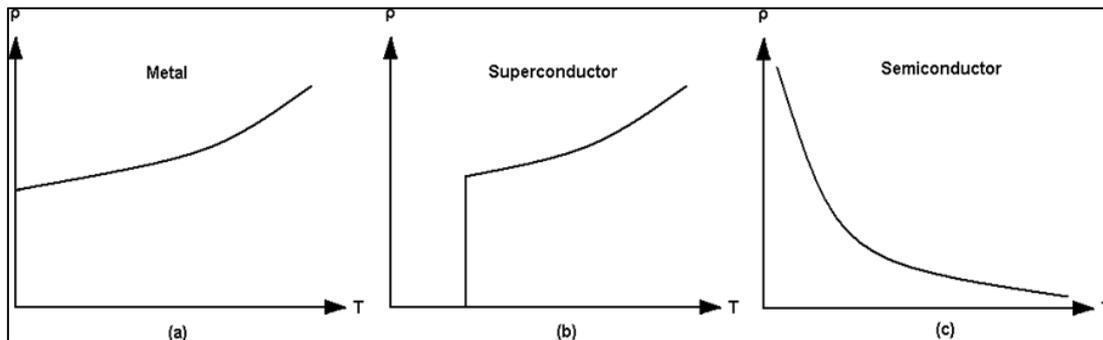
La resistividad de un metal puede describirse mediante la ecuación para un intervalo de temperaturas razonable.

Donde ρ_{20} denota la resistividad a 20°C y ρ_t denota la resistividad a la temperatura t °C. Esta magnitud se denomina coeficiente térmico de resistividad. Se ha descubierto que varios metales presentan superconductividad. Inicialmente, la resistividad de cualquier metal desciende regularmente a medida que disminuye la temperatura. A la llamada temperatura crítica (entre 0.1°K y 10°K), la Como se ilustra en la figura, la resistividad se reduce bruscamente a cero. Una vez que se forma una corriente en un anillo superconductor, parece continuar sin fin sin que exista ningún campo conductor.

Los conceptos de la mecánica clásica como se muestra en la figura 2 no pueden describir este fenómeno, que sólo puede entenderse utilizando la mecánica cuántica.

Figura 2.

Variación De La Resistividad Con La Temperatura Para Tres Conductores. [3]



Nota. Fuente [3], elaborado por los autores

Como se ve en la figura, la resistividad de un semiconductor se reduce considerablemente al aumentar la temperatura. El número de portadores de carga aumenta rápidamente al subir la temperatura, y este aumento de n en la ecuación supera significativamente cualquier aumento de k . Por el contrario, al bajar la temperatura, la resistividad de un semiconductor aumenta hasta el punto de que puede considerarse un aislante.

9.4. Relación entre resistividad y resistencia.

La ecuación da la densidad de corriente J en cualquier lugar dentro de un conductor donde sólo existe un campo electrostático.

Debido a que no existen dispositivos que puedan medir directamente la densidad de corriente y el campo electrostático, es más fácil formular esta ecuación de otra manera.

Multiplicando escalarmente ambos miembros por un elemento de longitud del conductor ds y la dirección y sentido de la densidad de corriente J , e integrando a lo largo del conductor desde el punto a hasta el punto b . Como J y ds son paralelos, el producto $J \cdot ds$ es $J ds$ o $(I / A) ds$. [1]

Además, al limitarse a conductores con la misma intensidad de corriente I en todos los tramos rectos, I puede eliminarse de la integral. Por tanto, la ecuación 3 se muestra así.

$$\int E \cdot ds = I \int_a^b \frac{\rho}{A} ds \quad \text{Ecuación 3}$$

La ecuación 4 puede escribirse ahora de la siguiente:

$$V_{ab} = I \cdot R \quad \text{Ecuación 4}$$

Esto indica que la diferencia de potencial entre los extremos de un conductor con fuerza motriz puramente electrostática es igual al producto de la corriente que circula por el conductor multiplicada por su resistencia. Se puede utilizar un voltímetro y un amperímetro para medir la diferencia de potencial y la intensidad de corriente, respectivamente. El voltio por amperio, u ohmio, es la unidad de resistencia eléctrica. [1]

La resistencia existe en todos los materiales, ya sean conductores (excluidos los superconductores). Un conductor homogéneo de longitud L y sección transversal constante A tiene una resistencia:

indicando la resistividad en función de la resistencia se muestra en la ecuación 5:

$$\rho = \frac{A \cdot R}{L} \quad \text{Ecuación 5}$$

Esta ecuación muestra que la resistividad de un conductor es directamente proporcional a su sección y resistencia e inversamente proporcional a su longitud.

9.5. Resistividad del terreno

Hasta ahora, hemos establecido los parámetros eléctricos de la resistividad en conductores metálicos o semiconductores, pero nuestro principal objetivo es investigar la resistividad del suelo.

El aspecto más esencial en la resistencia del suelo es la resistividad del propio suelo, que debe conocerse para calcular y construir el sistema de puesta a tierra. [1]

La resistividad del suelo es la capacidad del suelo para conducir la electricidad; también se conoce como resistencia específica del suelo. En su medición se promedian los efectos de las

numerosas capas que componen el suelo objeto de estudio, ya que normalmente su composición no es homogénea, dando lugar a lo que se conoce como resistividad aparente, que en este trabajo se denominará simplemente "pa". [2]

Ahora bien, la resistividad del terreno como se muestra de la ecuación 6 es la resistencia al paso de la corriente en un cubo de terreno de 1 m de arista y 1 Ω , que podemos sustituir en la ecuación.:

$$\rho = \frac{R \times A}{L} = \frac{1\Omega \times 1m^2}{1m} = 1\Omega \cdot m \quad \text{Ecuación 6}$$

Por ello, la unidad de resistividad del Sistema Internacional es el ohmímetro (-m), comúnmente conocido como resistencia por unidad de volumen.

Para realizar una puesta a tierra es necesario analizar todas las características del suelo, y la mejor forma de hacerlo es conociendo el valor de su resistividad; ya que, desde la toma de tierra, desde el punto de vista eléctrico, se encarga de disipar las corrientes de defecto o avería que le llegan a través de los electrodos de puesta a tierra. Para identificar las características del suelo, a menudo se obtienen muestras a una profundidad aceptable con el fin de evaluar su homogeneidad.

9.6. Elementos que influyen en la resistividad del terreno

La resistividad del suelo varía mucho en todo el mundo y está influida por diversos factores, entre ellos:

- Naturaleza del terreno
- Humedad
- Temperatura
- Salinidad
- Estratigrafía
- Variaciones estacionales y del medio ambiente
- Factores de naturaleza eléctrica
- Factores de naturaleza química
- Compactación

9.7. Naturaleza del terreno

Según su naturaleza, los suelos pueden ser buenos, regulares o pésimos conductores. El primer paso para implantar una toma de tierra adecuada como nos muestra la tabla 4 es comprender su naturaleza.

Tabla 4.

Resistividad Según El Tipo De Terreno. [3]

NATURALEZA DEL TERRENO	Resistividad ($\Omega.m$)
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Limosos	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedentes de alteración	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600

Nota. Fuente [3], elaborado por los autores

Para cálculos aproximados de la resistencia de puesta a tierra se pueden utilizar los siguientes valores como nos muestra la tabla 5:

Tabla 5.*Naturaleza Del Terreno. [3]*

NATURALEZA DEL TERRENO	Valor medio de la Resistividad ($\Omega.m$)
-Terrenos cultivables y fértiles, así como terraplenes compactos y húmedos Bajos.	50
-Terrenos cultivables, terraplenes y terrazas.	500
-Suelos pedregosos y arenas porosas y secas.	3000

Nota. Fuente [3], elaborado por los autores

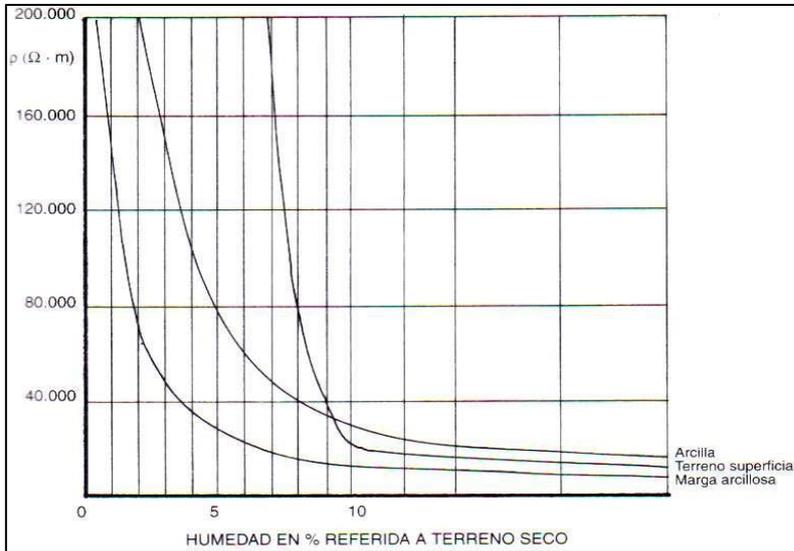
Cuanto mayor es la resistividad (grosor de los granos de las partículas) del material del suelo, más compacto y antiguo. Como resultado, el valor de la resistividad aumenta con el tamaño de las partículas, por lo que la grava tiene una resistividad mayor que la arena, y la arena tiene una resistividad mayor que la arcilla.

9.8. Humedad

El agua del suelo, su estado higrométrico, influye notablemente en la resistividad, ya que al elevar la humedad disminuye la resistividad y al bajar la humedad aumenta la resistividad; en cualquier caso, siempre que se añada agua a un suelo, su resistividad disminuye en comparación con la que tendría si estuviera seco. Se considera que un suelo está "saturado de agua" cuando todos sus intersticios están completamente llenos de agua nos muestra la figura 3. [4]

Figura 3.

Variación De La Resistividad En Función De La Humedad Del Terreno. [3]



Nota. Fuente [3], elaborado por los autores

El agua contenida en los áridos se agota como consecuencia de la evaporación natural desde la superficie del terreno, un fenómeno que se desplaza despacio desde la superficie hasta los estratos más bajos. [4]

Este efecto se dispersa lentamente desde lo más plano hasta los estratos más profundos y se hace más significativo a medida que el clima del lugar se vuelve más seco y el electrodo de tierra se coloca a menor profundidad.

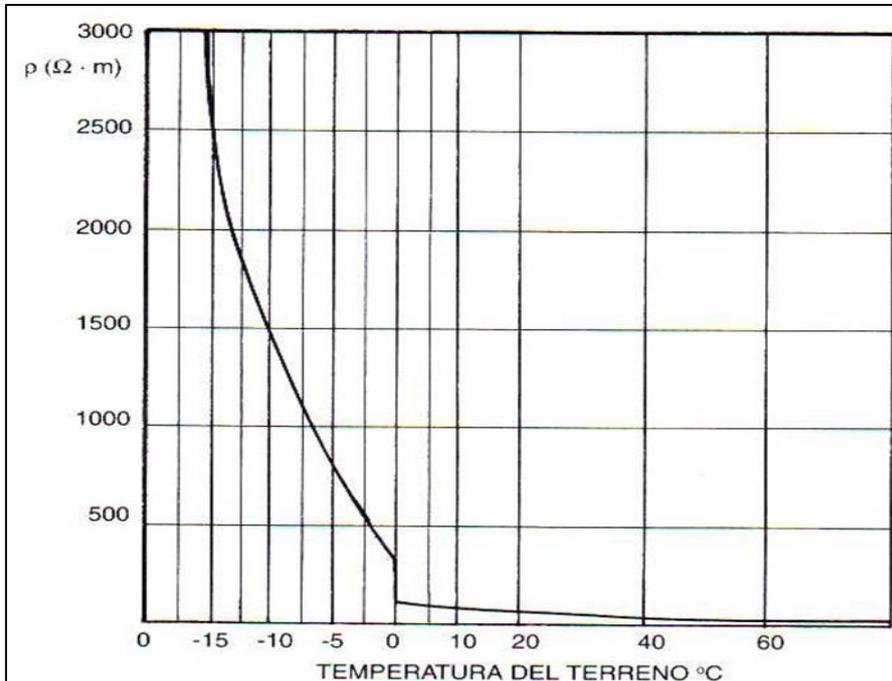
Estos fenómenos deben tenerse en cuenta en zonas con precipitaciones estacionales, ya que la tierra tiene una resistencia muy baja durante la estación lluviosa y una resistividad muy alta durante la estación seca. En algunas zonas donde estas oscilaciones son muy pronunciadas, deben establecerse valores máximos admisibles de resistividad del suelo, uno para la estación lluviosa y otro para la estación seca. [4]

9.9. Temperatura del terreno

Las cualidades térmicas del suelo dependen de sus características, de su grado de rigidez y del grado de humedad.

Figura 4.

Variación De La Resistividad Del Terreno En Función De La Temperatura. [3]



Nota. Fuente [3], elaborado por los autores

La resistividad del suelo aumenta a medida que disminuye la temperatura, pero cuando la temperatura desciende por el nivel bajo de cero grados centígrados, la resistividad se eleva muy rápidamente, como se muestra en la figura 4.

Cuando la temperatura del suelo desciende por debajo de 0 $^{\circ}C$, el agua del suelo se congela, generando hielo, que es eléctricamente aislante porque la movilidad de los iones del suelo a través del agua se detiene al congelarse el agua. [5]

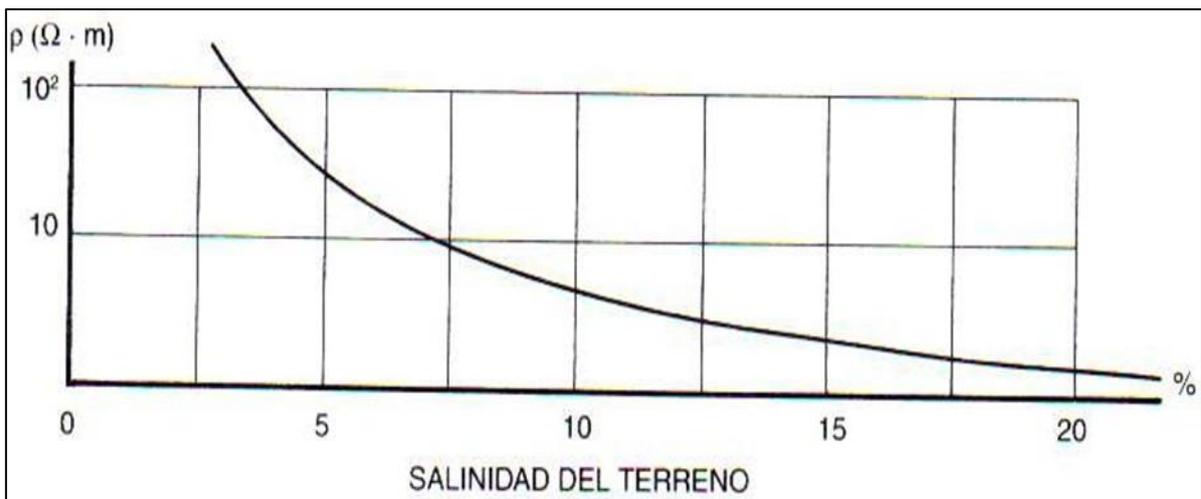
9.10. Salinidad del terreno

El valor de resistividad aparente de un suelo puede mejorarse en gran medida o incluso un suelo de alta resistividad puede mejorarse simplemente añadiéndole sales, es decir, aumentando la salinidad del suelo, se reduce su resistividad.

Para aumentar la resistividad del suelo, se pone sal en las fosas de los puntos de toma de tierra o cerca de los electrodos, si son accesibles, y luego se rocía con agua; este tema se tratará con mayor profundidad y con la variación de alcalinidad del suelo como nos muestra la figura 5. [5]

Figura 5.

Variación De La Resistividad Del Terreno En Función De La Salinidad. [3]



Nota. Fuente [3], elaborado por los autores

El riego excesivo o las fuertes lluvias lavan el suelo, eliminando la sal que rodea los electrodos de puesta a tierra y aumentando su resistencia.

Los electrodos de puesta a tierra son más resistentes. En consecuencia, no se recomienda desplegar electrodos de puesta a tierra cerca de ríos, tanto superficiales como subterráneos, porque los suelos suelen estar muy limpios y, por tanto, son más resistentes de lo normal.

La resistividad del suelo se rige principalmente por la cantidad de electrolitos, o minerales y sales disueltas. Por ejemplo, la resistividad es esencialmente la misma para cantidades del 1% (en peso de sal) o superiores, pero bastante alta para valores inferiores a esta cantidad. [5]

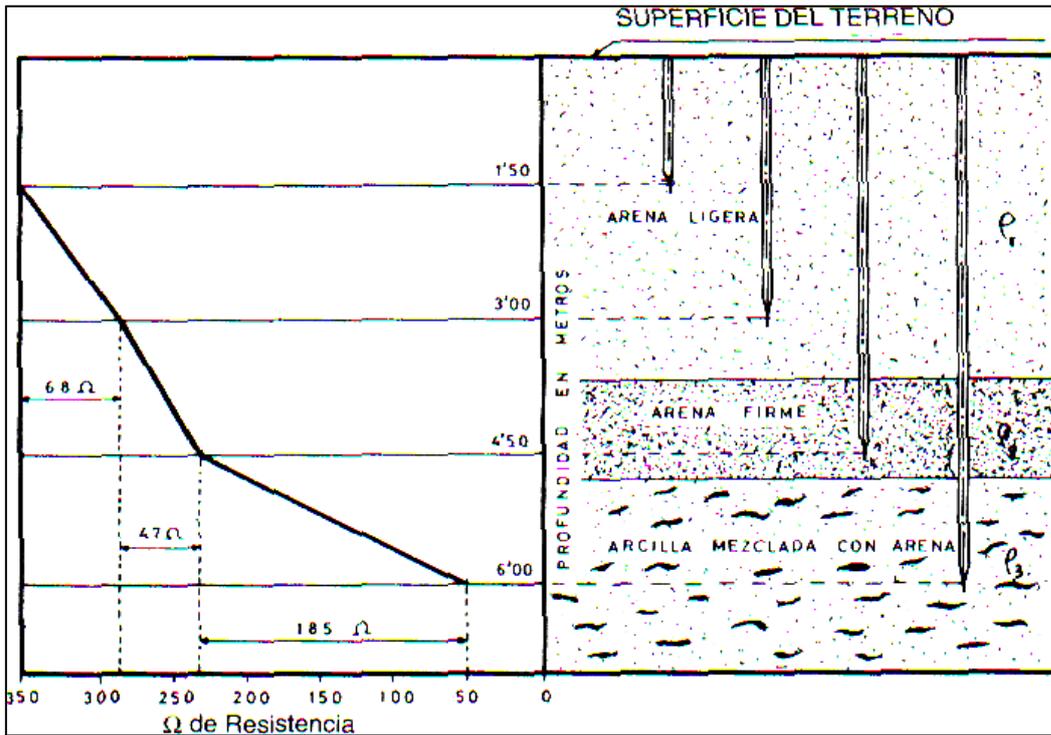
9.11. Estratigrafía del terreno

Los suelos están formados en profundidad por capas con diferentes agregados y, por tanto, resistividades. La resistividad será una mezcla de la resistividad de las distintas capas y de sus

espesores. La resistividad media o aparente como se muestra en la figura 6 será pues la suma de las resistividades de todas las capas que componen el suelo.

Figura 6.

Resistencia De La Superficie Del Terreno. [3]



Nota. Fuente [3], elaborado por los autores

Cuando se desconoce la resistividad de las capas inferiores, es necesario analizarlas y ensayarlas para determinar el valor de puesta a tierra a cierta profundidad. Nunca debe extenderse el resultado de la capa superficial, ya que la variación de la composición del suelo puede producir sorpresas importantes. [5]

Se recomienda instalar electrodos en profundidad si las instalaciones y el suelo lo permiten. En consecuencia, si el terreno es pobre, el número de varillas a instalar es enorme o el desnivel del terreno lo impide, se instalarán en paralelo, a pesar de la incertidumbre y el riesgo que esta decisión conlleva.

9.12. Variaciones estacionales y del medio ambiente

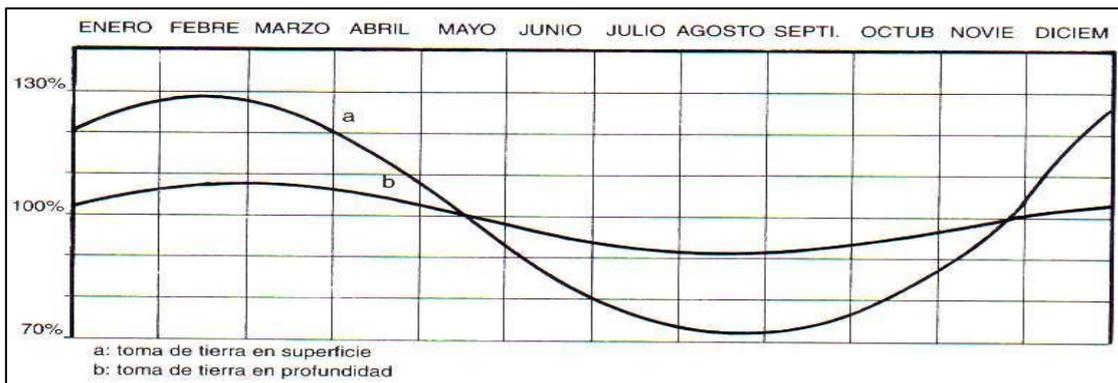
El nivel freático se acerca a la superficie del suelo durante la estación lluviosa, lo que hace que la resistividad es menor durante la estación seca, el nivel freático se aleja más de la superficie.

Para mantener el valor de resistividad lo más igual posible durante todo el año, lo mejor es enterrar los electrodos a gran profundidad en la tierra y proteger el suelo de las inclemencias meteorológicas en la medida de lo posible.

La resistividad estival es mayor que la invernal nos indica la figura 7, y los electrodos enterrados a mayor profundidad presentan una fluctuación estacional menor que los electrodos enterrados superficialmente.

Figura 7.

Variación De La Resistividad Del Terreno A Lo Largo Del Año. [3]



Nota. Fuente [3], elaborado por los autores

Tendremos más promesas de mantener estable el valor de la resistividad cuando enterremos los electrodos a mayor profundidad o los coloquemos bajo los cimientos de la instalación. [5]

9.13. Factores de naturaleza eléctrica

El gradiente de potencial, la cantidad de corriente de defecto a tierra y el deterioro grave de los electrodos o del sistema de puesta a tierra en general pueden modificar la resistividad de una puesta a tierra.

9.13.1. Gradiente de potencial

Cuando alcanza un valor crítico de unos pocos kV/cm, impacta en el suelo, provocando la creación de pequeñas regiones eléctricas en el terreno que hacen que el electrodo actúe como si fuera más grande.

9.13.2. Magnitud de la corriente de defecto a tierra

Si el valor es excesivamente alto, también puede cambiar el comportamiento del electrodo de tierra, ya sea produciendo gradientes excesivos o provocando el calentamiento cerca de los conductores enterrados, lo que da lugar a la evaporación del agua.

9.13.3. Deterioro de los electrodos o del conjunto de puesta a tierra

Esto ocurre cuando un cortocircuito abierto o la caída de un rayo se canalizan a través de la toma de tierra de la instalación; en estos casos, es obligatorio inspeccionar la red de toma de tierra del emplazamiento porque puede deteriorarse o fundirse si la intensidad es muy alta (cientos o miles de amperios). En estos casos, es obligatorio inspeccionar la red de puesta a tierra del emplazamiento porque puede deteriorarse o fundirse si la intensidad es muy elevada (cientos o miles de amperios).

9.14. Factores de naturaleza química

9.14.1. Efecto del PH

La naturaleza del suelo viene determinada no sólo por la composición original de la roca, sino también por otros elementos como la presencia de materia orgánica, fertilizantes químicos, contaminantes industriales o residenciales, etc., que hacen que las cualidades originales de un suelo se alteren radicalmente. En muchas circunstancias, su presencia provoca una elevada corrosividad, como en un suelo pantanoso, ácido y con mucha materia orgánica, o en suelos muy alcalinos que atacan a metales como el Zn, el Al y el Pb. Por todas estas razones, la medición del pH del suelo ofrece un criterio para determinar su agresividad. La relación entre pH y corrosividad se observa en la tabla 6.

Tabla 6.*Relación Entre El Ph Y La Corrosividad. [3]*

pH	Medio	Corrosividad	Protección catódica
< 4.0	Ácido muy fuerte	Muy agresivo	Sí
4.0 – 4.5	Muy ácido	Muy agresivo	Sí
4.5 – 5.0	Ácido	Muy agresivo	Sí
5.0 – 6.0	Moderadamente ácido	Muy agresivo	Sí
6.0 – 6.5	Poco ácido	Agresivo	Sí
6.5 – 7.5	Neutro	No agresivo	Depende
7.5 – 8.5	Poco alcalino	No agresivo	Depende
> 8.5	Muy alcalino	Condicionado	Depende

Nota. Fuente [3], elaborado por los autores

La protección catódica está indicada para valores de potencial de hidrógeno inferiores a 6,5 para evitar la corrosión del sistema de puesta a tierra. La sección se extiende mucho sobre la protección catódica y la corrosión.

9.14.2. Potencial red-ox

El potencial de oxidación-reducción "rojo-ox" de un suelo se ha utilizado para estimar el peligro de corrosión anaeróbica que puede sufrir una estructura enterrada, sobre todo en casos de corrosión bacteriana, pero no para descartar otros tipos de corrosión.

A continuación, se indican los valores del potencial de reducción-oxidación en función del peligro de corrosión anaeróbica del suelo como se observa en la tabla 7.

Tabla 7.*Relación Entre El Potencial Red-Ox Y La Corrosividad. [3]*

Potencial red-ox	Corrosividad	Protección catódica
< 100 mV	Muy agresivo	Sí
100 – 200 mV	Moderadamente agresivo	Sí
200 – 400 mV	Débilmente agresivo	Sí
> 400 mV	No agresivo	Depende

Nota. Fuente [3], elaborado por los autores

9.15. Compactación

La vibración de la máquina de penetración dejará un hueco entre la pica y el suelo siempre que se coloquen electrodos de pica, placa y conductor enterrado, por lo que será necesario compactarlo para tener un buen contacto pica-tierra. La resistividad disminuye entonces cuando la compactación del suelo es severa. En consecuencia, siempre procuraremos colocar los electrodos en los suelos más compactos.

9.16. Comportamiento eléctrico del suelo

Los suelos tienen una estructura estratificada, con capas superpuestas con sus propias propiedades conductoras, como resultado de la meteorización, el transporte y la acumulación de productos sólidos a lo largo del tiempo geológico; cuando son planos, son gruesos y laminares (Litoral Costero, Selva Baja), y cuando son irregulares, son finos e irregulares (Tierras Altas, Selva Alta).

9.17. Características de los suelos

Su composición varía según el lugar; la cubierta superficial que bordea la atmósfera contiene y/o favorece las formas de vida. Entre los más de 90 elementos caracterizados, predominan ocho, con oxígeno (O₂) con silicio (Si) y aluminio (Al) en forma de óxidos hidratados que constituyen entre el 70% y el 80% de la masa total, seguidos de óxidos de hierro (Fe) y magnesio (Mg) y compuestos de calcio (Ca), sodio (Na) y potasio (K), y otros en forma de pequeños porcentajes de sales solubles (entre el 0.05% y el 2,0%), con pequeñas medias de humedad.

9.18. La conducción eléctrica del suelo

Los suelos no son normalmente buenos conductores de la electricidad; sin embargo, la dispersión de la corriente permite una aceptable capacidad de conducción, que es también de naturaleza electrolítica y/o electroquímica, y está determinada principalmente por la porosidad del material, que contiene humedad y sales solubles, y está acompañada en menor o mayor medida por otros elementos como la granulometría, la rigidez y la temperatura que manipulan su conductividad, esencialmente en el caso de la estratificación superficial.

La calificación eléctrica de los suelos se basa en medidas de resistividad; en este sentido, la información geológica presenta tablas genéricas con rangos referenciales, tanto para los suelos como para las aguas que los recargan.

De este modo, sólo la medición sobre el terreno es segura, con todas las precauciones que permiten minimizar los errores, tanto si se tienen en cuenta los rangos de resistividad del suelo como el tipo de agua que lo cubre, tal como proporcionan las tablas mencionadas o las muestras experimentales. [6]

Tabla 8.

Resistividades Referenciales De Aguas Naturales Genéricas. [3]

Tipo o característica del agua	Resistividad ($\Omega.m$)
Meteóricas (lluvia atmósfera limpia)	800 - 1200
Meteóricas (lluvia atmósfera industrial)	30 - 400
Superficiales puras (filtraciones del suelo)	>> 3000
Superficiales salubres (mar y minerales)	>> 0.1
De anomalías geotérmicas	0.03 - 0.3
Aluviones con agua dulce	20 - 200
Aluviones con agua salada	1 - 5
Aluviones casi secos	50 - 100
Estancadas	30 - 150
Filtraciones rocosas	30 - 1000

Nota. Fuente [3], elaborado por los autores

Se muestran los valores genéricos de resistividad eléctrica para muchos tipos de agua se muestra en la tabla 8.

9.19. Definición

9.19.1. El sistema de puesta a tierra (GPS):

De un sistema eléctrico es un conjunto de componentes conductores que unen el aparato eléctrico a la tierra sin interrupciones ni fusibles. Contiene todos los elementos conectados a tierra, así como la toma de tierra. [6]

9.19.2. El suelo:

Es un sistema natural formado principalmente por componentes minerales y sólidos inertes que le proporcionan estabilidad, junto con líquidos y gases que determinan su actividad eléctrica. Es el producto de procesos físicos, químicos y biológicos.

9.19.3. La conexión eléctrica con el suelo:

Se realiza a través de un conductor que se encuentra cerca de la tierra. Puede ser un cable, un tubo, una cinta, una placa o una varilla.

9.19.4. Las corrientes eléctricas:

Por defecto se dispersan en el suelo o en la masa mediante un conjunto de elementos conductores equipotenciales que están en contacto eléctrico con el suelo o con una masa metálica común de referencia. Consta de cables enterrados, conectores y electrodos. También se denomina toma de tierra o puesta a tierra. [6]

9.19.5. Conexión a tierra:

Se denomina puesta a tierra a cualquier conexión entre la instalación eléctrica y un elemento, ya sea intencionada o no. Se aplica a cualquier pieza de maquinaria o componente de una instalación eléctrica (neutro, centro de arranque del transformador o generador, armarios, incluso una fase para sistemas en triángulo, entre otros) que entre en contacto, ya sea a propósito o por accidente, con una sustancia que se considere conectada a tierra.

9.19.6. Tierra (Ground o Earth):

Es un término que engloba todo, incluidos los sistemas de puesta a tierra. Está relacionado con cuestiones eléctricas

9.19.7. Conductor del electrodo de puesta tierra (Grounding Electrode Conductor):

Conductor que se fija firme y deliberadamente a una toma de tierra para dispersarla por varios lugares de instalación.

9.19.8. Resistividad del suelo:

Es una medida indirecta de la resistencia específica del suelo a una profundidad determinada o de un estrato concreto del suelo; su magnitud se indica en Ohm-metros u Ohm-centímetros; y es la inversa de la conductividad. La relación entre la diferencia de potencial de un material y la consiguiente densidad de corriente se conoce como resistividad eléctrica (ρ). Es la resistencia particular de una sustancia. En números, es la resistencia proporcionada por un cubo de dimensiones 1 m x 1 m x 1 m, medida entre dos caras opuestas.

9.19.9. Resistividad aparente:

Es la resistividad que se midió directamente en el suelo natural utilizando el enfoque de cuatro (4) electrodos, aplicada mediante circuitos de corriente y potencial distintos, y sólo sirve para resaltar una parte de la característica del suelo estratificado.

9.19.10. Resistencia mutua de electrodos:

Un fenómeno resistivo se produce cuando dos electrodos de puesta a tierra o puntos de tierra vecinos están próximos entre sí y la corriente que circula por uno de ellos modifica el potencial del otro. El ohmio es su unidad.

9.19.11. Potencial eléctrico:

Es la diferencia de tensión entre un punto y una elección arbitraria de potencial cero o tierra remota, que suele ser la superficie de tierra. Potencial positivo y potencial negativo son términos utilizados para describir puntos que tienen un potencial superior a cero.

9.19.12. Tierra remota:

También se conoce como Tierra de Referencia, y es el lugar o la zona de menor resistencia que está más cerca de la tierra bajo una instalación eléctrica o un sistema de puesta a tierra, y a la que, por convención, se asigna el potencial cero.

9.19.13. Bajante a tierra:

Los numerosos componentes y equipos de la subestación, como el edificio, la valla, el transformador, los disyuntores, los pararrayos y los equipos de medición y control, están conectados a la red de tierra mediante un conductor de cobre.

9.19.14. Conexión a tierra:

Cuerpo conductor que actúa como toma de tierra, como un chasis o el armazón metálico de un equipo, etc., que también puede actuar como conductor de retorno común para numerosos circuitos. Puede tener una conexión a tierra o estar a potencial cero con respecto a la tierra.

9.19.15. Ampacidad:

Capacidad de transporte de corriente. la mayor cantidad de corriente que un dispositivo o conductor puede soportar de forma continua sin sufrir daños a largo plazo por un cambio en sus cualidades eléctricas, químicas o mecánicas.

9.19.16. Conservación:

Mantenimiento preventivo periódico de los equipos y del sistema eléctrico en su conjunto.

9.19.17. Ground potential rise (GPR):

Máxima tensión abrupta que podría existir entre la red y un lugar distante con potencial cero.

9.19.18. Inspección de las instalaciones eléctricas:

Inspección periódica de los proyectos de construcción eléctrica por parte de un ingeniero o técnico cualificado designado a tal efecto por la AEE o el propietario del proyecto para garantizar el cumplimiento de las leyes, reglamentos y normas de construcción eléctrica aplicables.

9.19.19. Malla conectada a tierra:

Grupo de electrodos y conductores de cobre desnudos, enterrados horizontalmente y

conectados eléctricamente, que se colocan bajo tierra y sirven para disipar cualquier tensión o corriente no deseada. En el sistema, cualquier exceso de tensión o corriente se disipa. Esta disposición ofrece un único punto de puesta a tierra para toda la maquinaria y los componentes metálicos de la subestación. Toda red de puesta a tierra debe cumplir las directrices de este documento.

9.19.20. Master Ground Bar (MGB):

En una subestación, la barra colectora principal para la puesta a tierra.

9.19.21. Personal calificado:

Una persona que ha recibido formación y conocimientos sobre el diseño, el mantenimiento y el uso de sistemas eléctricos, así como sobre las normas de seguridad correspondientes.

9.19.22. Resistencia Base (Footing Resistance):

Existe resistencia entre una disposición de varillas y las capas superiores del suelo.

9.19.23. Soldadura exotérmica:

Fusión de dos metales mediante una reacción interna que produce calor como subproducto.

9.19.24. Varilla a tierra:

Electrodo de puesta a tierra sumergido de metal.

9.19.25. Voltaje de toque:

Tensión experimentada entre los pies y las manos o el cuerpo por una persona que toca una estructura metálica dentro de las instalaciones de una subestación.

9.19.26. Voltaje de paso:

Una persona que pasea dentro de las instalaciones de una subestación que experimenta tensión entre sus pies mientras la distancia entre sus pies es de aproximadamente un metro y sus manos o su cuerpo no están en contacto con ninguna estructura metálica.

9.20. Motivos para poner a tierra materiales conductores que albergan conductores eléctricos o equipos.

Las cubiertas metálicas, o los materiales conductores que envuelven a los conductores o equipos eléctricos, deben conectarse a tierra por tres razones básicas. La sección 250-2(b) de la NEC contiene un análisis de las dos causas principales.

1. Para reducir la tensión debido a:
 - Rayos.
 - Sobre corrientes momentáneas.
 - Contacto involuntario con líneas eléctricas.
2. Drenar a tierra las corrientes de fuga o las corrientes de descarga electrostática es otro propósito, aunque no se menciona en las notas del código.
3. Mantener la estabilidad de la tensión durante las operaciones regulares.
4. Facilitar el uso de los disyuntores.

Para reducir los acoplamientos electromagnéticos y drenar las corrientes de fuga y las descargas electrostáticas, por ejemplo, es importante conectar a tierra los cables apantallados. Los equipos electrónicos avanzados pueden sufrir daños, problemas e imprecisiones en los datos debido al ruido eléctrico producido por los generadores de ruido e incluso por el propio equipo electrónico. Para garantizar que el equipo electrónico funcione con la mayor eficacia posible, es crucial drenar rápidamente estas corrientes estáticas y de fuga a tierra.

En las notas del código se hace hincapié en la conexión entre el conductor de tierra, también conocido como neutro, y la tierra del equipo, también conocida como tierra de seguridad. Sólo en el panel de distribución primaria puede establecerse esta conexión.

9.21. Tierra física

Debido al gran número de documentos, manuales y especificaciones técnicas contradictorias que existen, así como al uso excesivo de términos sin definiciones técnicas claras, el tema de la toma de tierra se presta a considerables malentendidos. Muchas de estas frases carecen de definiciones oficiales en ninguna norma; son propensas a significados ambiguos, y la mayoría fueron desarrolladas a lo largo del tiempo por empresas que fabrican equipos electrónicos. La

situación empeora por el hecho de que muchas de las especificaciones que se aplican a los equipos electrónicos fueron elaboradas por ingenieros que nunca habían leído el NEC. Por este motivo, es crucial caracterizar los sistemas de tierra utilizando jerga técnica para que todo el mundo hable el mismo idioma y comprenda todo el significado del código.

9.21.1. Tipos de sistema de tierra

A continuación, se enumeran los principales sistemas de tierra:

1. **Tierra física** o puesta a tierra, que se refiere al sistema de electrodos de puesta a tierra y a todas las conexiones necesarias para crear un sistema de puesta a tierra fiable.

El vínculo físico entre un sistema y un electrodo situado debajo se conoce como toma de tierra, también conocida como sistema de electrodos de tierra. El resto del sistema, incluida la toma de tierra del circuito y la toma de tierra de seguridad o del equipo, están por encima de la tierra, por lo que ésta es sólo un componente. Es un error común pensar que un buen sistema de toma de tierra tiene una resistencia baja en el electrodo de tierra. Sin embargo, hay que tener en cuenta las tres partes principales del sistema de puesta a tierra de una instalación eléctrica: la toma de tierra, la toma de tierra del circuito y la toma de tierra del dispositivo.

El electrodo de puesta a tierra, también conocido como sistema de puesta a tierra, debe estar en contacto directo con la tierra y puede estar formado por una varilla, un tubo u otro electrodo permitido por el Código. Consta de la toma de tierra de seguridad o del equipo y de la toma de tierra del circuito, dos sistemas que están por debajo de la tierra, pero conectados a los componentes por encima de la tierra.

El conductor de tierra, también conocido como conductor neutro, es la toma de tierra del circuito. Su función es transportar la corriente de defecto producida por el conductor de tierra del equipo en caso de cortocircuito o defecto a tierra. El punto neutro-tierra del panel de distribución principal sirve como conducto de baja impedancia para la corriente de defecto, cerrando el circuito y facilitando el disparo de los disyuntores.

Para mantener los componentes metálicos del equipo en un plano equipotencial o de referencia cero, el sistema de tierra de seguridad, también conocido como tierra del equipo, los conecta. Para distinguirla de la toma de tierra, en España se denomina "masa". Al mantener la misma referencia a tierra en caso de que un conductor de fase entre en contacto con la envolvente

metálica del equipo, esta técnica elimina cualquier riesgo para las personas. Una persona no puede morir por corrientes nocivas ya que no hay diferencia de potencial.

- 2. Tierra de protección contra rayos** es un sistema independiente que debe conectarse al sistema de puesta a tierra del edificio para cumplir el código. La Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA), creadora del NEC, estableció el código de protección contra rayos NFPA 780, que regula este tipo de puesta a tierra.

El pararrayos, un conductor de bajada y un electrodo de puesta a tierra independiente se utilizan en este sistema específicamente para drenar la energía del rayo a tierra de forma regulada. Aunque el sistema de electrodos de instalación a tierra del sistema de protección contra rayos debe estar conectado al electrodo de puesta a tierra del edificio, el código no entra en grandes detalles sobre este sistema de protección.

Al principio, no tiene sentido por qué el código exige conectar los dos sistemas. Por un lado, el código dicta que conectemos la corriente del rayo a nuestro sistema del edificio, donde se encuentran nuestros valiosos equipos electrónicos, y por otro, queremos drenar la corriente del rayo a tierra. O, dicho de otro modo, estamos incorporando parte de la energía del rayo a nuestro sistema eléctrico. Sin embargo, esta normativa tiene una justificación lógica. Recordemos que la seguridad de los trabajadores es la primera prioridad del código y que la funcionalidad de los equipos es la segunda.

Las altas tensiones y las intensidades de corriente también son posibles componentes de la energía del rayo. La cantidad de corriente producida por un rayo puede alcanzar los 200.000 amperios. La tensión sería de 2.000.000 voltios si la resistencia de nuestro sistema de tierra de protección fuera de 10 ohmios. A estos niveles, si los dos sistemas de puesta a tierra del edificio y del sistema de protección contra el rayo no estuvieran conectados, habría una diferencia de potencial entre ellos, lo que podría provocar un arco o una chispa que podría dañar gravemente o incluso matar a las personas. Además, una persona puede verse expuesta brevemente a dos millones de voltios si entra en contacto con un objeto metálico y el conductor de bajada del sistema en el momento de la caída de un rayo.

- 3. Tierra del equipo o tierra de seguridad** está diseñado para proteger a las personas y la maquinaria de errores o cortocircuitos.

Con el fin de preservar una referencia común de tierra, este sistema conecta todos los componentes metálicos de los equipos, como conductos metálicos, cubiertas metálicas de electrodomésticos y todos los equipos que pueden alimentarse y entrar en contacto con las personas.

Ni el sistema subterráneo ni un electrodo de puesta a tierra se utilizan en este procedimiento. Para permitir el funcionamiento de los dispositivos de protección contra sobrecargas, el código estipula que estas conexiones deben ser eficientes, es decir, conformes al código, tener continuidad, ser capaces de transportar la corriente de defecto de forma segura (es decir, tener una ampacidad o capacidad adecuada para transportar la corriente de defecto) y ofrecer una baja impedancia.

El conductor de puesta a tierra de los equipos debe manejarse de acuerdo con el código para cumplir con el requisito de impedancia.

- 4. Conductor conectado a tierra** o conductor en la definición del Código Eléctrico. Para un sistema monofásico, este sistema cumple la función de transportar la corriente de retorno del conductor de fase, y para un sistema trifásico dividido o un sistema monofásico de tres hilos, cumple la función de devolver las corrientes de fase que no se anularon. En un sistema monofásico, el conductor conectado a tierra, también conocido como "conductor de puesta a tierra", es el conductor que transporta la corriente de retorno del conductor de fase, que en un sistema trifásico dividido o monofásico de tres hilos transporta el retorno de las corrientes de fase que no se anularon.

El conductor de tierra, también conocido como conductor neutro, es la referencia de tierra del sistema porque está conectado a tierra en el transformador de la red pública en los sistemas conectados a tierra, y el código exige que llevemos este conductor de tierra a nuestro equipo de servicio en la entrada del edificio. El conductor del electrodo de tierra se conecta ahora al conductor neutro, estableciendo la unión neutro-tierra en la varilla de tierra. En otras palabras, el conductor neutro está conectado a tierra. Y siempre que hablamos de tensiones en cualquier sistema, nos referimos a la tensión de un conductor en relación con el conductor neutro conectado a tierra.

- 5. Tierra Aislada.** Esta tecnología, que se utiliza sobre todo en salas de ordenadores, ofrece a los equipos electrónicos delicados una toma de tierra eléctrica libre de ruidos.

También se conoce como "tierra dedicada", aunque este término ha generado muchos malentendidos.

Las grandes e importantes empresas de Estados Unidos tenían problemas con el ruido eléctrico y las interferencias de alta frecuencia en los conductos metálicos utilizados para proteger los cables de señal o actuar como conductores de tierra a principios de la década de 1970. Por ello, se desarrolló un segundo conductor de tierra, distinto del conductor de seguridad y aislado del conducto, con el único propósito de proporcionar una tierra libre de ruidos.

Tras su aprobación por los comités de códigos, se designó como tierra aislada. El término "aislada" ha persistido en el sector a pesar de que existe un nombre mejor para ella - "toma de tierra dedicada"- y esto ha dado lugar a una serie de problemas, malentendidos y desorden en el sistema de toma de tierra de distribución eléctrica.

No obstante, la toma de tierra de construcción se considera, de acuerdo con este concepto, como una toma de tierra independiente. Más adelante en este libro, este sistema se tratará con más detalle.

6. Tierra de referencia de señal es el sistema utilizado como referencia cero para todos los dispositivos de señal digital.

Los fabricantes de equipos electrónicos desarrollaron este método para ofrecer una toma de tierra limpia e independiente de la toma de tierra del equipo; sin embargo, si no están conectados, va en contra del NEC.

En este caso, el electrodo de tierra de señal debe estar conectado al sistema de tierra del edificio para cumplir con el código. Se han dado varios nombres a este terreno, incluyendo: Incluso con buenas intenciones, pueden producirse infracciones del código por la conexión a tierra de la señal, la conexión a tierra del ruido y la conexión a tierra electrónica.

Con frecuencia, los equipos se conectan a la estructura metálica del edificio cuando están situados a 30 metros o más del panel principal. No va en contra del código realizar esta conexión, sin embargo, la longitud del conductor de puesta a tierra puede marcar la diferencia.

Dado que un cable de 12 AWG tiene una resistencia de unos 10 ohmios, sólo se necesitan 0,10 voltios para producir 1 amperio. Dado que esta toma de tierra es la referencia cero para los

equipos electrónicos digitales, cualquier intensidad de corriente en el conductor de tierra afecta a los equipos electrónicos.

El quinto y sexto sistemas, que tratan de la integridad del sistema y la protección de los componentes del equipo, se suman a los cuatro primeros sistemas descritos anteriormente, que son normas del código eléctrico para la seguridad del personal y los equipos. Los dos últimos sistemas proporcionan un buen rendimiento y una larga vida útil a los sistemas digitales si se instalan correctamente.

9.22. ¿Qué es una conexión efectiva a tierra?

Es necesario instalar tres componentes para la trayectoria de tierra. Que son:

1. Los circuitos, en primer lugar.
2. La maquinaria.
3. Las cubiertas de los equipos conductores.

Tanto los circuitos como los equipos y las instalaciones de armarios metálicos necesitan una toma de tierra sólida para funcionar correctamente.

Cuando se instala, la toma de tierra se integra en el circuito eléctrico. El conductor debe ser de calibre suficiente para resistir la corriente de defecto, y todas las conexiones deben ser permanentes e ininterrumpidas.

El conductor utilizado para conectar el equipo al electrodo de puesta a tierra se denomina

conductor de puesta a tierra en el código. Este conductor debe tener poca impedancia. La impedancia, que es la resistencia al flujo de corriente, debe mantenerse siempre al mínimo.

Cuando se establece un circuito eléctrico, debe preservarse la continuidad del conductor. Para que el conductor tenga la capacidad necesaria para soportar la carga que suministra, debe emplearse el calibre correcto. Además, es importante mantener baja la resistencia al flujo de corriente. Por ello, en la definición de puesta a tierra efectiva, se hace referencia a la toma de tierra como otro circuito eléctrico. Durante la instalación, debe tenerse el mismo cuidado y reflexión que con cualquier otro circuito eléctrico de distribución o derivación.

El sistema de puesta a tierra tiene tres conductores, y el código los nombra en función de su ubicación y su función.

Estos son los conductores:

1. El puente principal para la conexión.
2. El conductor para el electrodo de puesta a tierra.
3. La toma de tierra de seguridad o el conductor para la puesta a tierra del equipo.

En circunstancias normales, el conductor de puesta a tierra no está destinado a transmitir corriente de carga; sólo en condiciones de fallo.

Una puesta a tierra eficaz podría resumirse de la siguiente manera:

Que el camino a seguir es:

1. Deliberadamente a tierra.
2. Permanente.
3. Continuo.
4. Seguro; el diámetro de los conductores debe ser suficiente para transportar con seguridad cualquier corriente de defecto.
5. Una vía de baja impedancia.

Hay tres razones por las que la impedancia debe mantenerse baja:

1. Para mantener la tensión por debajo del suelo.
2. Para facilitar el funcionamiento de los dispositivos de protección.
3. Para descargar a tierra las corrientes de fuga, estáticas y no deseadas que causan ruido.

9.23. Funciones de una Malla de Puesta a Tierra

Entre los factores cruciales se encuentran

1. Garantizar la seguridad de los trabajadores de las subestaciones.
2. Ofrecer una vía de descarga rápida y de baja impedancia para mejorar y garantizar el rendimiento de las protecciones.

3. Prevenir sobretensiones causadas por descargas atmosféricas, accionamiento de interruptores u otras actividades.
4. Permitir que las descargas atmosféricas o las cargas estáticas conduzcan a tierra.
5. Al establecer los niveles de aislamiento, garantizar que los valores de tensión a tierra de los equipos o estructuras que se encendieron o activaron involuntariamente se mantengan en niveles seguros.
6. permitir el aislamiento inmediato de los defectos mediante equipos de protección.

Ahora bien, en términos generales, se prevé que un sistema de puesta a tierra tenga capacidad suficiente para distribuir valores específicos de corriente en el suelo sin permitir que los potenciales en la superficie del suelo alcancen niveles que pongan en peligro la seguridad humana (control del gradiente de potencial). [7]

9.24. Requisitos de una Malla a Tierra

Una Malla de puesta a tierra debe cumplir con siguientes:

- a. debe existir resistencia para que el sistema se considere firmemente conectado a tierra.
- b. La resistencia debe variar muy poco como consecuencia de los cambios ambientales para que la corriente de defecto a tierra pueda provocar siempre el disparo de las protecciones.
- c. Baja impedancia de onda para el simple paso de descargas atmosféricas.
- d. Necesita conducir corrientes de defecto sin crear gradientes de potencial potencialmente peligrosos entre sus puntos cercanos.
- e. No debe producirse un calentamiento excesivo durante el paso de la corriente de defecto a lo largo del tiempo máximo de defecto especificado (es decir, disparo de reserva).
- f. Debe ser resistente a la oxidación.

Sin embargo, una instalación de puesta a tierra debe tener las características para realizar estas tareas correctamente:

- Baja resistencia
- Capacidad de conducción.

9.25. Sistema electrodo de tierra

El término "electrodo" se refiere a los terminales de una batería, que muestran el camino que siguen los electrones a la circular dentro y fuera de la batería. El método por el que los electrones entran en tierra en una instalación eléctrica es a través del electrodo de tierra. Para facilitar la entrada de los electrones a tierra, es necesario instalar un terminal.

El concepto de toma de tierra suele malinterpretarse. La falta de definiciones claras de los términos, las interpretaciones erróneas de las ideas fundamentales y la escasez de ideas nuevas para los sistemas electrónicos digitales contemporáneas son los culpables de esta incertidumbre. Como resultado, muchas costumbres de conexión a tierra se basan en creencias irracionales y supersticiones.

Las técnicas de puesta a tierra que prosperan en frecuencias de baja potencia como 50, 60 y 400 hertzios, etc., son insuficientes para regular eficazmente las altas frecuencias que se observan en las redes de datos contemporáneas. Las frecuencias de datos oscilan efectivamente entre la corriente continua y la emisión electromagnética de luz visible como resultado del desarrollo de la fibra óptica.

Controlar las corrientes no deseadas, las corrientes de fallo, las corrientes de descarga electrostática, las corrientes de ruido de alta frecuencia y las corrientes de fuga es el objetivo principal del sistema de puesta a tierra.

Cuando la mayor parte de la corriente pasa por la superficie del conductor a frecuencias más altas, un conductor que suele tener un recorrido de muy baja resistencia a frecuencias de corriente alterna se convierte en un conductor de alta impedancia. Cuando se utiliza con radiofrecuencias (RF), este conductor se transforma en una antena que transmite y recibe las radiofrecuencias utilizadas por los aparatos digitales (informáticos), que funcionan en bandas de radio de onda corta con frecuencias de reloj entre 10 y 30 megahercios. Los datos se intercambian entre los sistemas de estos equipos utilizando frecuencias del nivel de los megahercios.

Para proteger la integridad del sistema y garantizar la seguridad de los empleados, el sistema de puesta a tierra debe regular las corrientes. Las normas generales para la puesta a tierra de las instalaciones eléctricas y los sistemas de prevención de incendios, así como las relativas a la seguridad de la vida humana, se describen en el artículo 250 del código NEC.

Cualquier edificio debería poder utilizar las directrices de este texto. La directriz hace hincapié en la necesidad de mantener las normas de seguridad y también destaca la responsabilidad de los ingenieros.

Un ejemplo es que, al igual que la pérdida de memoria en los equipos informáticos, las corrientes de ruido no controladas pueden provocar el mal funcionamiento de los equipos, su lenta degradación y la destrucción de los componentes.

9.25.1. Funciones del electrodo de Tierra

Aunque la varilla de tierra es el electrodo de puesta a tierra más común, también existen otros tipos.

El sistema de electrodos de puesta a tierra puede estar formado por uno o varios electrodos con funciones específicas dentro del sistema. El electrodo de tierra cumple las siguientes funciones

1. Mantener un buen contacto con la tierra para que los componentes metálicos de la instalación eléctrica que están unidos al sistema de puesta a tierra y no conducen corriente se mantengan a potencial de tierra o potencial cero.
2. Crear un elevado número de rutas a tierra para los numerosos electrones producidos por una descarga aérea o una sobretensión transitoria, de forma que puedan disiparse instantáneamente.
3. Descargue a tierra las corrientes de fuga y las descargas electrostáticas que puedan producirse o acumularse en las carcasas metálicas de los equipos.

El electrodo de tierra recibe con frecuencia la asignación incorrecta de transportar la corriente de defecto para facilitar el funcionamiento de los dispositivos de protección. El electrodo de tierra no realiza esta función. Debido a su alta impedancia de tierra, que impide que pase suficiente corriente a través de él para disparar el dispositivo de protección o el disyuntor, el electrodo de tierra no debe utilizarse como vía de corriente de defecto.

La función principal del electrodo de puesta a tierra es mantener la toma de tierra del equipo eléctrico y cualquier revestimiento o componente metálico no conductor de corriente en una referencia cero. Un sistema de puesta a tierra eficaz, que preste especial atención a preservar la continuidad del conductor de puesta a tierra del equipo, puede conseguirlo. El mantenimiento del potencial cero requiere la conexión de cada electrodo de puesta a tierra. El electrodo de

tierra proporciona muchas vías diferentes para los electrones, sin embargo, las vías de baja impedancia están influenciadas por la composición del suelo.

Analizar el tipo de suelo desde el punto de vista de la toma de tierra es crucial a la hora de diseñar una instalación. Un suelo arenoso tiene menos conductividad que uno fértil porque la conductividad y la composición del suelo están inversamente correlacionadas. Además, la conductividad mejora al aumentar el contenido de humedad.

Un sistema de conductores que ofrece un canal controlado para dirigir electrones a la tierra puede considerarse el sistema de electrodos de tierra, también conocido como toma de tierra. Estos electrones pueden proceder de descargas atmosféricas, corrientes parásitas o electricidad estática.

9.25.2. La varilla de Tierra

Según la Sección 250-52(c), una barra de tierra debe tener una longitud mínima de 2,44 m (8 pies) y un diámetro mínimo de 13 mm (1/2 pulgada). En contacto directo con el suelo, esto da una superficie de unos 312 cm² (150 pulgadas cuadradas). Se ha establecido que un aumento de la longitud de la varilla afecta más favorablemente a la resistencia del suelo que un aumento del diámetro de la varilla. La resistencia al suelo y la resistencia alrededor de la varilla disminuyen con la longitud. Considere estos tres tipos de resistencia

1. La de la varilla propiamente dicha.
2. La del punto en el que la varilla hace contacto con el suelo.
3. La temperatura de la tierra circundante.

La resistencia del material conductor que compone la varilla suele tener un valor muy bajo y es despreciable. La resistencia al contacto también es muy baja y se considera despreciable cuando la varilla de tierra se cuida libre de grasa, pintura y otros materiales y la tierra se compacta fuertemente contra la varilla.

La resistencia de la tierra puede visualizarse como un anillo de tierra con capas concéntricas de tierra que lo rodean; la capa más cercana al anillo tiene una superficie menor y, por lo tanto, presenta mayor resistencia.

Habr  un gran número de trayectorias de flujo de electrones a medida que crezca el área de cada casquete, aumentando el área que rodea a la varilla. Este ejemplo puede compararse con un electrodo más largo puede propagar los electrones en el suelo con más eficacia que uno más corto, según la noción de capas concéntricas que rodean el electrodo.

El electrodo de tierra puede compararse con un sistema de riego. Donde los electrodos penetran en el suelo, hay numerosas vías potenciales o estaciones de riego.

Los electrodos están enterrados en la tierra. Las distintas rutas que pueden seguir los electrones para penetrar en el suelo están dadas por el efecto de irrigación.

Esta unión se calentará, como cualquier otra unión de alta resistencia, si el electrodo de tierra no hace buen contacto con la tierra. En regiones con suelo arenoso, el calor producido por los electrodos que intentan penetrar en la tierra puede alcanzar temperaturas lo suficientemente altas como para provocar la cristalización de la arena. Aunque hay muchas formas de que los electrones entren en un electrodo, la mayoría lo har  por la parte inferior. Los altos voltajes, en particular la energía de los rayos, van en línea recta.

9.25.3. Unión de los electrodos de tierra

Las siguientes técnicas pueden utilizarse para unir todos los electrodos de puesta a tierra:

1. La construcción metálica del edificio es una.
2. Hormigón con un electrodo incrustado.
3. Anillo de puesta a tierra.
4. Cualquier otro electrodo s ntetico.

Evitar las diferencias de potencial entre cualquiera de los electrodos es el principal objetivo de la conexión de los electrodos entre sí. El sistema tiene una diferencia de potencial cero cuando todos los electrodos están conectados entre sí.

El electrodo de instalación a tierra del sistema eléctrico del edificio no puede ser ocupado en lugar del electrodo de puesta a tierra del sistema de protección contra rayos según las normas NEC. El código de protección contra rayos NFPA 780, que fue redactado por la misma persona que redact  la edición de 1996 del código, exig  dicha conexión a tierra, mientras que la edición de 1996 del código permití la conexión a tierra entre los sistemas de tierra del edificio

y de protección contra rayos. Esta conexión entre los dos sistemas es necesaria según la edición más reciente del código, que es la de 1999.

La diferencia de tensión entre todos los electrodos de tierra se mantiene al mínimo uniéndolos o conectándolos entre sí como se indica en 250-92(b). Esto se aplica a los sistemas telefónicos y de televisión por cable, además de los sistemas de puesta a tierra y de protección contra rayos del edificio.

El problema es que estos sistemas de televisión por cable (CATV) y teléfono suelen necesitar un electrodo de tierra independiente. Pero como los tres negocios -teléfono, televisión por cable y energía eléctrica- son imperios independientes que nunca interactúan entre sí, no hay coordinación para unir estas áreas.

Pero la conexión de estos numerosos sistemas es necesaria para eliminar cualquier diferencia de potencial entre cualquiera de estos electrodos y los componentes de los equipos de cada sistema.

9.25.4. Estructura metálica del edificio como electrodo de tierra

A excepción de los criterios de la sección 250-50, el código no especifica cómo se conectan a tierra con éxito las vigas de acero del edificio. Se considera que la estructura metálica del edificio está correctamente conectada a tierra cuando se une a la cimentación de hormigón armado. Sin embargo, algunas normativas de construcción exigen que se fije un conductor de cobre desnudo a la estructura metálica en las zapatas de hormigón.

9.25.5. Electrodo incrustado en concreto

Cuando el terreno es rocoso y resulta difícil utilizar las técnicas convencionales de puesta a tierra, este electrodo, también conocido como Ufer, se emplea con frecuencia en emplazamientos remotos de telecomunicaciones. Se utiliza con mucha frecuencia, y también es muy eficaz, el sistema radial. Estos dos últimos métodos ofrecen un contacto suficiente con la tierra o su superficie para disipar el tráfico de electrones que, de otro modo, se transmitiría a través de los cables de transmisión de datos y señales.

El uso de varillas de refuerzo de acero o de un conductor de cobre que esté encapsulado en al menos 5 cm (2 pulgadas) de hormigón está permitido según la Sección 250-50 (c), el electrodo

incrustado en hormigón o tierra Ufer. Además, el hormigón debe estar muy cerca de la tierra. Esta tecnología de electrodos de puesta a tierra está ganando popularidad. Para los electrones, las varillas de refuerzo ofrecen numerosas rutas paralelas. El electrodo enterrado en hormigón presenta las siguientes ventajas:

1. El contacto directo con el suelo hace que el hormigón retenga la humedad.
2. Las varillas de refuerzo permiten que los electrones se muevan en más de una dirección.
3. El peso del edificio mantiene una presión constante en el punto donde el hormigón se encuentra con la tierra.
4. El hormigón tiene una gran superficie de contacto con el suelo.
5. Varios experimentos con el suelo Ufer han demostrado que es un electrodo de puesta a tierra eficaz y fiable.

Es mejor no emplear una lámina de plástico como barrera de vapor en obras civiles que utilicen cimientos de edificios como suelo Ufer, ya que se pierde el contacto directo entre el hormigón y el suelo. Los cimientos del edificio no pueden utilizarse como suelo Ufer en este caso.

9.25.6. Anillo de tierra como electrodo de tierra

La sección 250-50(d), como se ha comentado anteriormente, exige que el anillo tenga al menos 6,1 m (20 pies) de longitud y esté hundido a una profundidad de 76,2 cm (2 1/2 pies).

Se puede especificar un anillo de puesta a tierra separado, además del electrodo de puesta a tierra existente, en una instalación de alimentación de ordenadores.

9.25.7. Electrodo artificial o fabricados especialmente para la puesta a tierra

La sección 250-52 enumera los electrodos artificiales y destaca algunos puntos clave:

1. Los electrodos artificiales pueden utilizarse cuando las estructuras metálicas de los edificios, los electrodos implantados en hormigón o un anillo de puesta a tierra no son accesibles.
2. Los electrodos artificiales deben colocarse por debajo del nivel de humedad permanente para obtener los mejores resultados.
3. No se debe aplicar pintura, esmalte u otros revestimientos no conductores a

los electrodos artificiales. Este requisito del código está diseñado para garantizar un contacto adecuado entre el electrodo y la tierra. En consecuencia, la grasa, la pintura y el esmalte se consideran aislantes.

4. Los electrodos de puesta a tierra deben estar separados al menos 1,8 m. Esta norma también se aplica a los electrodos de tierra del sistema de protección contra el rayo. [7]

La sección 250-52(a) especifica lo que está permitido y lo que no está permitido en los electrodos de puesta a tierra. Se prohíbe expresamente lo siguiente

1. La utilización de gasoductos como electrodos de puesta a tierra.
2. Electrodos de puesta a tierra de aluminio.
3. Además, el uso de tuberías de agua de cobre, que antes estaba permitido, se prohibió hace unos años.

Los siguientes son ejemplos de los que también pueden utilizarse como electrodos de puesta a tierra:

1. Otros sistemas metálicos subterráneos, como un oleoducto o petroleoducto metálico o un depósito metálico subterráneo.
2. Electrodos y varillas. Son los electrodos de puesta a tierra más utilizados. Los electrodos de puesta a tierra incluyen muchos tipos de barras o varillas, así como tuberías metálicas.
3. Electrodos de placa compuestos de hierro y acero con unas dimensiones mínimas de 30,5 cm por 30,5 cm y un grosor de 6,5 mm. Sin embargo, no hay ninguna especificación en cuanto a la profundidad de enterramiento de la placa, excepto en la sección 250-52, que establece que debe enterrarse por debajo del nivel de humedad del suelo siempre que sea posible.

La sección 250-56 exige una separación entre electrodos de 1,80 m cuando la resistencia es superior a 25 ohmios y limita el número máximo de electrodos a dos. Los parámetros de esta sección sólo se aplican a los electrodos de varilla, tubo o placa. [7]

Cuando se inserta el segundo electrodo, los dos se conectan y se tratan como un único electrodo de tierra. De nuevo, en las notas de la sección se hace referencia a la distancia de 1,80 m entre electrodos, y se dice que la edificación mejora si los electrodos están separados más de 1,80 m. Esto garantiza que las capas concéntricas alrededor de los electrodos no se solapen.

En la industria informática, se utilizan tres electrodos, uno en cada esquina de un triángulo de tres metros, que luego se unen para formar un único sistema de electrodos de tierra. [7]

9.25.8. La Barra Electrolítica o Química

La varilla electrolítica es una variante de electrodo de tierra de varilla. Se utiliza generalmente en instalaciones donde se requieren equipos sensibles con baja resistencia a tierra, o donde existen malas condiciones del suelo y es difícil producir una baja resistencia a tierra. Cuando se coloca correctamente, este electrodo tubular genera un electrolito de alta conductividad que penetra en el suelo alrededor de la varilla y aumenta su conductividad. [8]

El electrodo de tierra debe tener una impedancia de tierra de 25 ohmios o menos, según el código. Los fabricantes de equipos electrónicos e informáticos exigen una resistencia de tierra inferior a 25 Ohmios. Algunas aplicaciones exigen una impedancia de 5 ohmios o menos. Esto puede lograrse mediante el empleo de uno o más electrolíticos.

Para conseguir la resistencia deseada, puede ser necesaria una barra electrolítica de más de 2,40 m de longitud y un número determinado de barras electrolíticas.

La varilla electrolítica está formada por un tubo fabricado con un 95% de cobre y un 5% de níquel de 2,40 m de longitud o más y unos 5 cm de diámetro, y se rellena con una mezcla de sales que absorben la humedad: CaCO_3 y NaCl . [8]

El tubo contiene tapones de cobre en ambos extremos y dos orificios de 5 cm en la parte superior y cuatro orificios de 5 cm en la parte inferior a través de los cuales se difunden los electrolitos en el suelo. El electrodo se instala en un agujero perforado en el suelo que debe tener al menos 15 cm de diámetro y ser 15 cm más largo que la longitud del electrodo.

El electrodo se coloca en el centro del agujero, con 15 cm de la parte superior del electrodo por debajo de la superficie. El hueco alrededor del electrodo se rellena con bentonita (arcilla cuya principal ventaja es su capacidad para absorber y retener agua), que se ha mezclado con agua. La bentonita es una sustancia volcánica extremadamente conductora. En la parte superior, se deja una zona libre para la conexión del conductor del electrodo de puesta a tierra, lo que permite que los orificios no queden obstruidos. [8]

El funcionamiento de la barra electrolítica se basa en la capacidad del cloruro cálcico para condensar la humedad del aire a través de los dos orificios de la parte superior. El agua se desplaza por la sal dentro del tubo debido a la gravedad y forma electrolito, que es un buen conductor de electrones. El agua queda retenida en un pequeño compartimento en la parte inferior del tubo y se desborda por el orificio relleno de bentonita. Cuando el agua entra en contacto con la tierra, se convierte en iones de sales metálicas, que aumentan la conductividad de la tierra. También aumenta la conductividad de la bentonita, que tiene la propiedad de adherirse a la superficie exterior del tubo, así como a la superficie del agujero.

La bentonita se adhiere al suelo independientemente de lo seco que esté el ambiente. De este modo se elimina la impedancia entre el electrodo y el suelo. El efecto total es una reducción de la resistencia de las capas de suelo que rodean al electrodo. No es necesario cambiar la sal del tubo porque no se dispersa con el tiempo, y su vida útil prevista es de 25 años. [8]

9.26. Resistividad del suelo

El conocimiento de las resistividades o resistencias individuales de una puesta a tierra es fundamental en el diseño y análisis de los sistemas de puesta a tierra, ya que determina los valores m y las tensiones de tensión que pueden desarrollarse en una instalación. En algunos casos, pueden ser necesarias características adicionales como propiedades magnéticas o dieléctricas. [9]

La resistividad normal del suelo oscila en un amplio rango, alcanzando relaciones de 1 a 100 o incluso de 1 a 1.000. Por ello, es fundamental conocer el valor real de la resistividad del suelo en cada caso concreto, para que la toma de tierra no sea demasiado pequeña, con los consiguientes riesgos para las personas y los equipos, o demasiado grande, con los consiguientes gastos más elevados de lo necesario. [9]

Los suelos suelen estar compuestos por distintos estratos minerales que discurren aproximadamente paralelos a la superficie del suelo. La medición de la resistividad en la zona donde se va a construir una toma de tierra tiene por objeto determinar esta propiedad para cada uno de los estratos presentes, así como su espesor medio hasta una profundidad específica de interés.

Esta profundidad viene determinada principalmente por el tamaño de la puesta a tierra que se va a construir. Para determinar estos valores se utiliza el sondeo eléctrico, una especie de medición de la profundidad. [8]

9.26.1. Definición de Resistividad

La resistividad específica de un material se define como la resistencia de corriente continua entre planos paralelos opuestos de una sección de longitud unitaria y sección unitaria uniforme, como un cubo de dimensión unitaria. La resistividad se expresa dimensionalmente de forma simplificada en ohmm², lo que equivale a ohmm (ohm por metro u ohm metro) en el sistema de unidades MKS, que se utiliza en este manual y se emplea actualmente en ciencia y tecnología. En la práctica, se utiliza un guión entre las unidades para facilitar la lectura, por lo que la medida se escribe como ohm-m, o -m. [10]

9.26.2. Conducción Eléctrica en Suelos

La mayoría de los minerales del suelo (arenas, arcillas, rocas, etc.) son malos conductores de electricidad por sí solos. Cuando se les introduce agua, su resistencia disminuye considerablemente y pueden considerarse conductores aceptables, aunque bastante pobres en comparación con los conductores metálicos tradicionales. Así, la resistividad del cobre es de aproximadamente 1,610-8 -m, mientras que la resistividad típica de un suelo normal es del orden de 100 -m. [11]

La humedad influye considerablemente en la resistividad de los minerales porque la conducción eléctrica se combina con conexiones covalentes e iónicas, siendo estas últimas las más esenciales.

Así pues, el mecanismo de conducción eléctrica es esencialmente de carácter electroquímico, en el que los iones disueltos en el agua confinada actúan como portadores de las cargas eléctricas. La conducción se produce en algunos minerales debido a su contenido metálico, en los que los electrones actúan como portadores primarios de las cargas eléctricas. [11]

Así pues, la resistividad de un suelo viene determinada principalmente por la cantidad de agua atrapada, la resistividad de esta agua y otros factores específicos del suelo. Se considera que las siguientes propiedades del suelo son importantes para determinar la resistividad:

- a. Los tipos de minerales que lo componen.
- b. La cantidad de humedad en el aire.
- c. La composición química y la concentración de sales disueltas en el agua.
- d. La temperatura.
- e. La granulometría del material conformado.
- f. La compacidad.
- g. El estrato de grafito.
- h. Otros.

9.26.3. Anisotropía de Resistividad

La anisotropía (an=no, iso=igual, tropo=propiedad) es una propiedad física de algunos suelos que afecta a la resistividad. Esto significa que la resistividad se ve afectada por la dirección de la medición [5]. Esta anomalía está causada por las orientaciones de los cristales de algunos de los minerales que componen la tierra, en particular los minerales semiconductores. Así, el grafito es uno de los minerales con mayor concentración de esta propiedad. La anisotropía también se observa en rocas con inclusiones o fisuras metálicas preferentemente orientadas, así como en conformaciones minerales estratificadas. Para nuestros propósitos, esta anomalía inusual de escala significativa tiene un impacto menor cuando se observa que las mediciones en lugar de la resistividad del suelo reflejan en gran medida. [12]

9.27. Causas de la corrosión

La corrosión es un proceso inevitable y natural. Las teorías modernas sobre la corrosión y la protección se basan en la estructura atómica de la materia. Las cargas positivas y negativas (protones y electrones) están equilibradas en el átomo. [13]

Los metales tienden a perder electrones, lo que hace que el átomo se convierta en un ion positivo. Cuando un metal se sumerge en un electrolito, los iones positivos se disuelven espontáneamente. Por tanto, podemos decir que la corrosión ha comenzado en un medio húmedo con un flujo concurrente de corriente eléctrica.

En otras palabras, estamos ante una degradación electroquímica del metal o corrosión húmeda. En la práctica, el daño seco o química (sin circulación de iones) no es frecuente. [13]

La corrosión es, por tanto, el daño o deterioro químico o electroquímico de un metal como resultado de la reacción con su entorno.

Varios factores pueden contribuir a la destrucción electroquímica del metal:

- Debido a la heterogeneidad del metal.
- La heterogeneidad del electrolito.
- Como resultado de corrientes parásitas.

9.27.1. Heterogeneidad del metal

Cualquier metal sumergido en un electrolito adquiere un potencial relativo al medio. Si el electrolito es una solución metálica típica, el potencial generado será el potencial electroquímico habitual del metal como se observa en la tabla 9. [14]

Tabla 9.

Potenciales electroquímicos normales de algunos metales expresados en voltios y referidos al electrodo de hidrógeno. [3]

METAL	POTENCIAL(V)
Oro	+ 1.40
Plata	+ 0.79
Cobre	+ 0.34
Hidrógeno	0
Plomo	- 0.13
Hierro	- 0.76
Aluminio	- 1.67
Magnesio	- 2.34

Nota. Fuente [3], elaborado por los autores

Los metales se vuelven menos nobles y más propensos a la corrosión a medida que se desciende en la Tabla. Cuando el electrolito no es una solución normal, como suele ocurrir, el potencial electroquímico del metal difiere del potencial electroquímico estándar. [14]

9.27.2. Pares galvánicos

La heterogeneidad más visible se produce por la unión de dos metales distintos sumergidos en el mismo electrolito. Por ejemplo, si conectamos eléctricamente cobre y hierro dentro del mismo electrolito, fluirá una corriente eléctrica del hierro al electrolito. En esta situación, el hierro se corroerá mientras que el cobre estará protegido. [15]

El ánodo es el lugar por donde fluye la corriente desde el metal hasta el electrolito. La zona catódica es donde la corriente entra en la estructura. En la primera, el metal se disolverá en forma de iones positivos, lo que dará lugar a la oxidación (corrosión). En la segunda, ganará electrones, lo que dará lugar a una reducción (protección).

Cuando dos estructuras están conectadas eléctricamente. El potencial de corrosión, E_{corr} , corresponde a este potencial de equilibrio, al igual que la corriente de corrosión, I_{corr} . En resultado, como el cobre es más sensible que el hierro, este último se corroerá, proceso conocido como corrosión por par galvánico. [15]

9.27.3. Estructuras oxidadas y otras

Cuando se unen estructuras oxidadas viejas de un metal con otras frescas del mismo metal, se produce la corrosión galvánica. Como el elemento oxidado es siempre más sensible que el metal fresco, este último se corroerá. Por otra parte, los cambios internos en las tensiones mecánicas, la composición o la orientación cristalográfica pueden producir corrosión al formar zonas anódicas y catódicas distintas en las superficies implicadas. [16]

9.28. Heterogeneidad del electrolito

9.28.1. Aireación diferencial

Es frecuente que existan discrepancias en el oxígeno disuelto en un electrolito que puede creerse homogéneo. Si una pieza metálica se sumerge en un medio de este tipo, su potencial será más positivo en la zona más aireada y menos positiva en la zona menos aireada. Esta última se corroerá como consecuencia de una aireación desigual. Los arañazos o picaduras en la superficie de un metal pueden provocar corrosión por aireación diferencial. [17]

9.28.2. Pilas geológicas

Consideremos que el metal de una estructura es totalmente homogéneo y que su longitud enterrada recorre suelos de diversos tipos, como suelos arenosos muy secos y suelos arcillosos muy húmedos.

La estructura se corroerá en esta última zona como resultado de las corrientes que fluyen a través del electrolito desde las zonas anódicas (suelos arcillosos) a las zonas catódicas (suelos arenosos). Las diferentes concentraciones de oxígeno pueden acelerar el proceso. [18]

9.28.3. Corrosión bacteriana

En los últimos años se ha puesto de manifiesto que ciertas bacterias pueden desempeñar un papel esencial en la corrosión de los metales. El problema del hierro enterrado en un medio anaeróbico es uno de los más investigados. El sulfuro y el óxido de hierro son los productos de corrosión más comunes. [18]

9.29. Mejoramiento del terreno

Cuando un sistema eléctrico se amplía, lo que antes se consideraba una resistencia a tierra modesta se convierte en un problema.

Además, el aumento del uso de tuberías no metálicas y el descenso del nivel de las aguas subterráneas en muchos lugares han dado lugar a resistencias de tierra superiores a las de diseño. Existen algunos métodos para reducir la resistencia del suelo cuando es demasiado alta. [19]

Se ha descubierto que utilizar varillas más largas y varias varillas en paralelo reduce la resistencia del terreno; sin embargo, cuando esto ya no es viable, hay que modificar el propio terreno utilizando productos químicos. Sin embargo, tiene el inconveniente de ser una solución cara que requiere mantenimiento en condiciones específicas.

Tanto el material en contacto con el electrodo como la compactación que recibe al rellenar el agujero son factores que contribuyen a lograr una baja resistencia en rocas y otros suelos de alta resistividad. [19]

El relleno óptimo debe ser fácil de comprimir, no corrosivo y buen conductor eléctrico. La bentonita satisface estas necesidades, al igual que otras sustancias como el sulfato de magnesio

o el sulfato de cobre o compuestos químicos patentados (THOR GEL, GEM de Erico, GAP de Alta Conductividad 2000 S.A., etc.).

La bentonita es una arcilla compuesta por la mineral montmorillonita, un silicato de aluminio, y tiene la capacidad única de absorber hasta cinco veces su peso en agua y expandirse hasta 13 veces su volumen en seco. Con un 300% de humedad, presenta una resistencia de 2,5 m. [19]

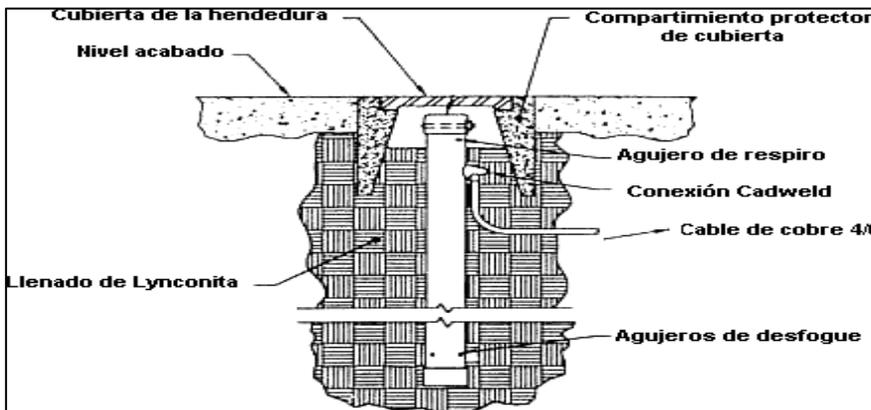
9.29.1. Métodos químicos de relleno

Además del llenado con uno de los productos químicos mencionados, existen otros procesos químicos.

El primero consiste en colocar aproximadamente 30 cm de los compuestos en un registro o agujero junto a la varilla se muestra en la figura 8. [20]

Figura 8.

Relleno De Lynconita Alrededor Del Electrodo. [3]



Nota. Fuente [3], elaborado por los autores

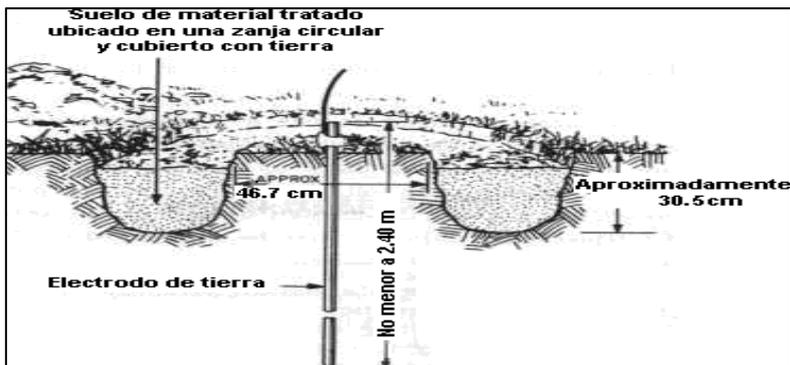
Este método es útil cuando el espacio es reducido, como en aceras o aparcamientos, pero es fácil comprobar que la resistencia del suelo producida con varios electrodos puede conseguirse de forma más asequible.

El otro método consiste en cavar una zanja alrededor de la varilla y rellenarla con 20 a 40 kg de los compuestos químicos mencionados, diluidos con agua. Este proceso es visible.

Esta tecnología, inventada en Japón en los años 70, tiene la ventaja de requerir un mantenimiento mínimo, ser antirrobo y no corroer los cables con el tiempo debido al tipo de material utilizado. También se adapta bien a lugares donde la capa superficial es poco profunda y resistiva como indica la figura 9. [20]

Figura 9.

Relleno Circular Al Electrodo. [3]



Nota. Fuente [3], elaborado por los autores

En China, el uso de perforaciones y explosivos para crear fisuras en suelos rocosos, como los utilizados para cementar torres de líneas de transmisión, se ha utilizado para mejorar la resistividad de un terreno de alta resistividad rellenando las fisuras con una sustancia de baja resistividad.

Las mediciones revelan que la modificación del terreno reduce la variación estacional de la resistencia de un electrodo significativamente más que el terreno natural no mejorado. [20]

10. VALIDACIÓN DE PREGUNTAS CIENTÍFICA O HIPÓTESIS

¿Mediante la utilización del telurómetro lo que permite determinar el adecuado dimensionamiento y correcta instalación de un sistema de puesta a tierra?

11. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

En el presente trabajo de tesis se realizó un estudio mediante la técnica del telurómetro en diferentes ares del suelo que permiten determinar los cálculos adecuados para una correcto dimensionamiento e instalación de puesta a tierra, se obtuvo información para conocer los parámetros de resistencia y resistividad del suelo.

11.1. Investigación bibliográfica

Esta investigación nos permitió ampliar los conocimientos y conceptos básicos del equipo utilizado para desarrollar una solución y determinar el dimensionamiento de la puesta a tierra.

11.2. Investigación experimental

Se evaluó la funcionalidad del telurómetro pudiendo identificar diferentes variables en la lectura, el almacenamiento de datos que proporciona el telurómetro para poder diferenciar las diferentes lecturas a distintas distancias.

11.3. Localización

El laboratorio de ingeniería electromecánica y agroindustrias está ubicado en el bloque académico "B" de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, permite el aprendizaje teórico y práctico de los estudiantes, y cuenta con los recursos necesarios para favorecer los procesos de enseñanza, aprendizaje, y los diversos dominios de conocimientos y experiencias.

Figura 10.

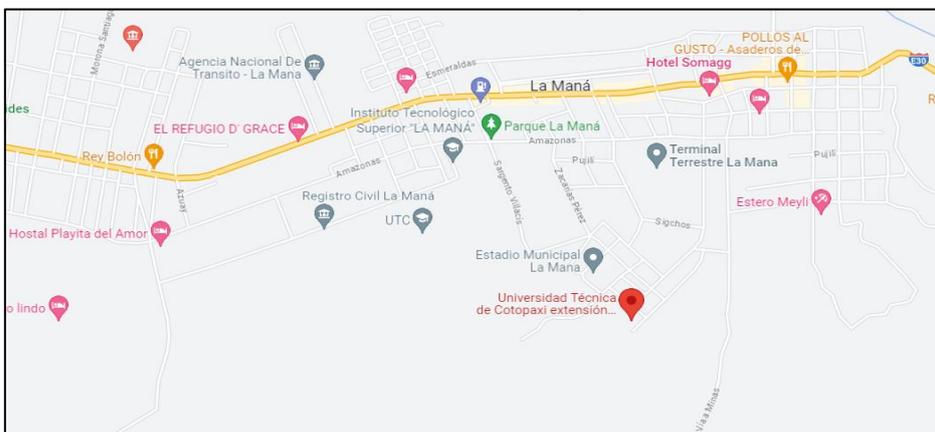
Universidad Técnica De Cotopaxi Extensión La Maná. [21]



Nota. Fuente [21], elaborado por los autores

Figura 11.

Ubicación. [22]



Nota. Fuente [22], elaborado por los autores

11.4. Tipos de investigación

El funcionamiento del telurómetro, las variables a determinar y los componentes incluidos en el mismo, así como el diseño, son necesarios para este proyecto de investigación. Utilización de diversas fuentes documentales y bibliográficas como aspecto integrante del proceso de creación de la posterior instalación de toma de tierra.

11.4.1. Investigación bibliográfica

A partir de una colección de fuentes documentales (libros, registros audiovisuales y documentos de archivo), este tipo de investigación bibliográfica se utilizó para acceder, evaluar, interpretar y adquirir información sobre un tema de estudio.

11.4.2. Investigación aplicada tecnológica

Mediante la realización de proyectos de esta naturaleza, desarrollamos información que puede aplicarse en el sector productivo para promover una buena influencia en la vida cotidiana.

11.4.3. Investigación descriptiva

Esta forma de investigación se utilizó para caracterizar los resultados del suelo en diversas etapas y distancias, así como sus componentes, propiedades y utilización.

11.5. Técnicas e instrumentos

Observar, medir, registrar y experimentar son los métodos utilizados para obtener información y resultados. En la tabla siguiente se enumeran los instrumentos utilizados para recoger y almacenar datos como observamos en la tabla 10.

Tabla 10.

Técnica E Instrumentos

No.	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
1	Observación	Fotografías de las pruebas realizadas en el suelo en diferentes lugares.
2	Medición	Resistencias máxima y mínima, resistividad máxima y mínima durante y después de aplicar aditivos en el suelo.
3	Registro	Cuaderno de notas y fotografías.
4	Experimentación	Determinar el dimensionamiento adecuado utilizando el telurómetro para la correcta instalación.

Nota. Elaborado por los autores

11.6. Telurómetro SEW 4235 ER

11.6.1. Funcionamiento del Telurómetro SEW 4235ER

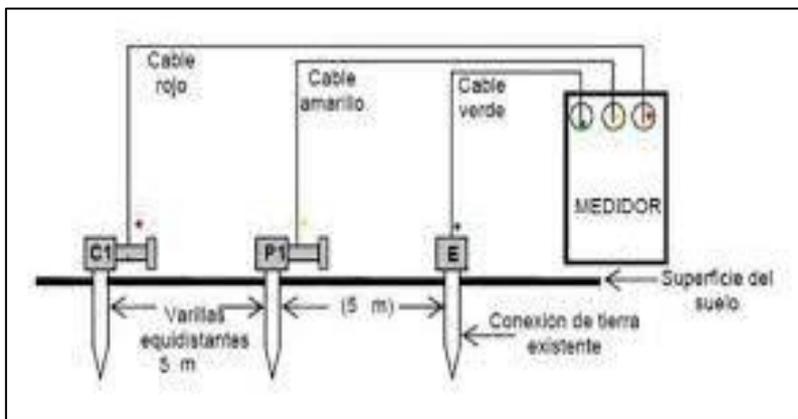
El telurómetro SEW 4235 ER estudia las propiedades del terreno para determinar la resistencia y la resistividad. Se trata de un instrumento de prueba que permite estudiar, apoyar y evaluar zonas del terreno al tiempo que se valora su viabilidad para la puesta a tierra; de esta forma, se pueden adquirir ahorros de costes o, en todo caso, la generación de riesgos. La finalidad del telurómetro es probar la zona en la que se va a instalar una instalación de este tipo. [23]

11.6.2. Esquema simplificado de un telurómetro

Cuando el telurómetro calcula la resistencia y la resistividad del suelo, obtenemos resultados variados, ya que las picas tienen trabajos distintos y el suelo tiene cualidades diferentes en cada lugar designado como nos indica la figura 12. [24]

Figura 12.

Esquema Simplificado De Un Telurómetro. [3]



Nota. Fuente [3] elaborado por los autores

12. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

12.1. Normativa de referencia para puestas a tierra

Para crear las condiciones adecuadas de un sistema de puesta a tierra, deben utilizarse como punto de referencia teórico normas y reglamentos actualizados que sean creíbles y controlen los métodos técnicos aceptados internacionalmente.

En consecuencia, hemos considerado como referencias principales los siguientes artículos:

- IEEE Std 80-2000
- Reglamento de seguridad NEC.
- Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) Colombia
Capítulo II Artículo 15 «Puestas a Tierra»
- Otras Publicaciones.

A continuación, se presentan los elementos más relevantes de cada documento, haciendo hincapié en los criterios de la guía.

12.1.1. IEEE Std 80 apartado 2000

El capítulo 16 de la norma IEEE Std 80-2000 sobre "diseño del sistema de puesta a tierra" define dos criterios clave para el diseño del sistema de puesta a tierra: condiciones normales de funcionamiento y condiciones de fallo. [25]

Los objetivos del diseño de la puesta a tierra son los siguientes:

- a) Proporcionar un método para disipar las corrientes eléctricas a tierra sin sobrepasar las limitaciones del equipo o del funcionamiento.
- b) Garantizar que ninguna persona que se encuentre cerca de una instalación eléctrica corra el riesgo de sufrir una descarga eléctrica.

La norma se ocupa de los cálculos de parámetros críticos según este criterio, como:

- Máxima corriente de malla.
- Tiempo de despeje de falla.
- Resistividad del suelo.
- Resistividad de la capa superficial.

- Geometría de la malla.

Una vez finalizado el diseño, la norma recomienda procedimientos computacionales para el modelado de la red de puesta a tierra. [25]

12.1.2. Art. 14.3 Ecuaciones de Schwarz

Ideé un conjunto de ecuaciones para calcular la resistencia global de un sistema de puesta a tierra en un suelo homogéneo formado por electrodos horizontales (rejilla) y verticales (varilla). En las ecuaciones ampliadas de Schwarz, un cable horizontal recto representa la resistencia a tierra, R_1 , de una red de conductores enmarañados, y una esfera incrustada en el suelo representa las varillas. R_2 . También presentó una ecuación para la resistencia de tierra R_m mutua entre la malla y las varillas. [26]

12.1.3. REGLAMENTO DE SEGURIDAD NEC

No existe un único nivel estándar de resistencia de puesta a tierra que todos los organismos reconozcan. La NFPA y el IEEE, por su parte, proponen una resistencia de puesta a tierra de 5,0 ohmios o menos.

Según el NEC, "asegúrese de que la impedancia del sistema a tierra es inferior a 25 ohmios, tal como se especifica en NEC 250.56. "Debe ser de 5,0 ohmios o menos en instalaciones con equipos sensibles". El sector de las telecomunicaciones ha utilizado con frecuencia 5,0 ohmios o menos como valor de puesta a tierra y conexión. [27]

El reglamento de seguridad del NEC (ecuatoriano) actualizado por el INEN establece numerosos párrafos en la sección 250 "Puesta a Tierra" que se separan en puntos para la conexión de la puesta a tierra de:

- Circuitos de c.c. y c.a.
- Sistemas de corriente continua y alterna con distintos niveles de tensión.
- Generadores.
- Sistemas alimentados desde acometida.
- Edificaciones.
- Conductores que se deben aterrizar.
- Puesta a tierra de equipos.

- Tipos de alambre para la conexión.
- Conexiones equipotenciales.
- Uso de la instalación de sistemas a tierra de los pararrayos.
- Puesta a tierra complementaria.

Describiremos los artículos relacionados con el artículo 250-25 y el punto M "Puesta a tierra de instalaciones y sistemas de alta tensión (1 kV o más)" para nuestro tema práctico. [28]

Art. 250-25.- Conductor que se debe colocar a tierra en método de corriente alterna. - El conductor que debe ponerse a tierra en los sistemas de cableado de corriente alterna es el que se indica en los apartados siguientes.

- a. Instalaciones monofásicas bifilares: un conductor.
- b. Instalaciones trifásicas monofásicas, neutro.
- c. Una instalación multifásica tiene un conductor común para todas las fases.
- d. Equipos multifásicos donde una fase debe estar puesta a tierra, conductor monofásico.
- e. Instalaciones polifásicas con una sola fase en el conductor neutro. [3]

Art. 250-81 Sistema de electrodos de puesta a tierra. Si los siguientes objetos, así como cualquier electrodo prefabricado erigido de acuerdo con 250-83(c) y (d), existen en la propiedad.

El conductor del electrodo de puesta a tierra puede conectarse a cualquier electrodo de puesta a tierra del sistema de electrodos de puesta a tierra. no empalmado. Sistema de electrodos de puesta a tierra. Debe dimensionarse en función del conductor de electrodo de puesta a tierra que se requiera entre todos los electrodos disponibles. [29]

Excepción 1: El conductor del electrodo de puesta a tierra puede empalmarse utilizando conectores a presión certificados designados para este fin o el procedimiento de soldadura exotérmica.

Las tuberías de agua metálicas interiores situadas a más de 1,5 m del punto de entrada al edificio no se utilizarán como parte de la implementación del electrodo de puesta a tierra o como conductor para conectar los electrodos de la instalación de puesta a tierra. [29]

Excepción 2: Cuando las necesidades de mantenimiento y supervisión garantizar que sólo el personal cualificado asistir a la instalación y tuberías metálicas internas de agua que se utilizará como guía está expuesta en todo su diámetro en edificaciones industriales y comerciales. [29]

- a) **Tubería metálica subterránea para agua.** - Una cañería de agua subterránea en contacto correcto con la tierra a lo largo de 3 m o más (incluidos los revestimientos metálicos de los pozos realmente conectados a la tubería) y con continuidad eléctrica (o eléctricamente continúa puentando las conexiones alrededor de juntas aislantes o secciones aislantes de la tubería) hasta el conductor del electrodo de la instalación a tierra y los puentes de unión. Los contadores de agua, filtros y equipos similares no deben utilizarse para garantizar la continuidad de la conexión a tierra o del puente de unión con el interior de la tubería. Debe añadirse un electrodo adicional del tipo descrito en 250-81 ó 250-83 a una tubería de agua metálica subterránea. Este electrodo adicional puede estar conectado al conductor de servicio puesto a tierra, al conducto de servicio puesto a tierra o al conductor del electrodo de la instalación a tierra. [29]

Cuando dicho electrodo suplementario se construye de acuerdo con 250-83 c) o d), la sección del puente de unión que constituye la única conexión a dicho electrodo suplementario no puede ser superior a 13,3 mm² (6 AWG) de hilo de cobre o 21,15 mm² (4 AWG) de hilo de aluminio. Para la conexión a dicho electrodo suplementario se utilizará un hilo de cobre de 13,3 mm² (6 AWG) o un hilo de aluminio de 21,15 mm² (4 AWG).

Excepción 3: Como se menciona en la Excepción 2 de 250-81, el electrodo adicional puede conectarse al interior de la tubería metálica de agua en cualquier posición adecuada.

- b) **Estructura metálica del edificio** - La estructura metálica del edificio cuando está correctamente conectada a tierra.
- c) **Electrodo empotrado de hormigón** - Un electrodo de hormigón empotrado al menos 50 mm en hormigón, situado en y cerca del fondo de una cimentación o zapata en contacto directo con la tierra, y consistente en al menos 6 m de una o más varillas de acero desnudo o galvanizado o recubierto con cualquier otro revestimiento conductor de electricidad, de diámetro no inferior a 13 mm, o al menos 6,1 m de conductor de cobre desnudo con un diámetro nominal de al menos 21,15 mm² (4 AWG). [29]

Art. 250-83. Electrodo especialmente contruidos. - Si no se dispone de ninguno de los electrodos enumerados en 250-81, deberán utilizarse uno o varios de los electrodos enumerados a continuación. Los electrodos especialmente diseñados deberán enterrarse por debajo del nivel de humedad permanente siempre que sea posible. Deben evitarse los revestimientos no conductores, como pintura o esmalte, en los electrodos especialmente contruidos. Cuando se utilice más de un electrodo para el sistema de puesta a tierra, todos No deben estar separados más de 1,8 m (incluidos los pararrayos). Dos o más electrodos de puesta a tierra correctamente conectados deben considerarse un único sistema de electrodos de puesta a tierra. [30]

- a) **Sistema metálico de tuberías de gas del metro** - Un sistema metálico subterráneo de tuberías de gas no debe emplearse como electrodo de puesta a tierra.
- b) **También se incluyen otros edificios o sistemas metálicos subterráneos vecinos**, como las tuberías y los depósitos del metro.
- c) **Electrodos de varilla o tubería** - Los electrodos de varilla y tubería deben tener una longitud mínima de 2,4 m, estar fabricados con el material indicado a continuación e instalarse de la siguiente manera:
 1. Los electrodos formados por tubos o conductos no deben tener un diámetro nominal inferior a 19 mm y, Si son de hierro o acero, hay que pulir su superficie exterior galvanizada o recubierta de cualquier otro metal que los proteja de la corrosión. [30]
 2. El diámetro de los electrodos de varilla de hierro o acero debe ser de 16 mm como mínimo.
 3. El electrodo debe colocarse de forma que esté en contacto con el suelo durante al menos 2,4 m. Debe empujarse hasta una profundidad de al menos 2,4 m, a menos que esté enfrentado a rocas, en cuyo caso el electrodo debe empujarse con un ángulo oblicuo de no más de 45° respecto a la vertical, o enterrarse en una zanja de al menos 800 mm de profundidad. A menos que la parte superior del electrodo y la conexión al conductor del electrodo de puesta a tierra estén protegidas contra daños físicos, tal como se describe en 250-117, el electrodo debe estar a nivel del suelo.

d) Electrodo de placa - Se requiere una superficie mínima de 0,2 m² en relación con el suelo para los electrodos de placa. El grosor de los electrodos de placa de hierro o acero debe ser de al menos 6,4 mm. Para el acero se requiere un espesor mínimo de 6,4 mm. Los electrodos de metales no ferrosos deben tener un grosor mínimo de 1,52 mm.

f) Electrodo de aluminio - Los electrodos de aluminio están prohibidos. **g)**

Pararrayos. Los conductores de puesta a tierra de pararrayos o los tubos, varillas u otros electrodos fabricados que se utilicen para poner a tierra los conductores de bajada de pararrayos no se utilizarán en lugar de los electrodos de puesta a tierra indicados en 250-83 para la puesta a tierra de sistemas y equipos eléctricos. Esta norma no excluye completar los requisitos de conexión de electrodos de puesta a tierra para sistemas diversos. [30]

12.1.4. Reglamento de seguridad técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) Colombia, capítulo II artículo 15 "puestas a tierra"

El artículo 15 "Puesta a tierra" del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas de Colombia establece en el Capítulo II "Requisitos Técnicos Esenciales":

"Normalmente accesible a las personas que puedan transitar o permanecer en él, no esté sometido a tensiones de paso, contacto o transferencia que superen los umbrales de soportabilidad cuando se produzca una avería." [31]

- Reglamento de seguridad técnico de instalaciones
- Eléctricas (RETIE) Colombia, Capítulo II Artículo Este reglamento establece:
- Capacidad de carga del cuerpo humano.
- Diseño para la puesta a tierra.
- Requisitos en general.
- Los materiales.
- Valores de resistencia que se ponen a tierra.
- Determinación de los parámetros relacionados con la puesta a tierra.
- Puestas a tierra temporales. [31]

12.1.5. Otras publicaciones

Otras normas, como la peruana, la española o la argentina, tienen especificaciones similares en cuanto a los requisitos del sistema de puesta a tierra, ya que la mayoría de ellas se basan en normas internacionales como IEEE, ANSI, IEC, etc.

"Asegúrese de que la resistencia del sistema a tierra sea inferior a 25 ohmios". Según NEC 250.56. Debe ser de 5,0 Ohmios o menos en instalaciones con equipos sensibles". [32]

12.2. Diseño y calculo de la malla de puesta a tierra

Cuando el uso de electrodos básicos es insuficiente para cumplir los requisitos de seguridad y funcionamiento del sistema, se requieren diseños de electrodos más complicados. En este caso, es preferible crear los mejores refuerzos para que se disponga de la información adecuada y se tengan en cuenta muchos elementos en el diseño. Entre estos elementos se encuentran:

- El modelo de suelo.
- La intensidad de la corriente de defecto.
- La región disponible para la implementación de la malla.

Fundamentalmente, el diseño de una red de puesta a tierra debe respetar los siguientes parámetros:

- a) Garantizar que las tensiones de contacto y de paso producidas antes de la circulación del peor estado de falta sean inferiores a los niveles de tensión de contacto y de paso considerados seguros para las personas.
- b) Garantizar que se proporcionan valores bajos de resistencia de puesta a tierra, de modo que se disponga de una magnitud de corriente suficiente para permitir el correcto funcionamiento de los sistemas de protección. [33]

12.2.1. Modelo del Suelo

Las cualidades naturales de la zona de implantación lo determinan. El suelo puede representarse como uniforme, bicapa o multicapa. Los modelos multicapa proporcionan la representación más exacta de las situaciones reales, pero su modelización requiere procesos computacionales complejos y software especializado.

La modelización bicapa ofrece una precisión suficiente para obtener resultados aceptables en la mayoría de las aplicaciones subestaciones de distribución, industriales y comerciales. [34]

12.2.2. Modelo del suelo a dos capas

El suelo se representa mediante un modelo de dos capas con una capa superior de resistividad 1 y hondura h y una capa baja de resistividad 2 y profundidad ilimitada. [34]

Las mediciones de Resistividad tomadas en el terreno como nos muestran las tablas 11, 12, 13 fueron las siguientes:

Tabla 11.

Mediciones De Resistencia Del Suelo A Distintas Distancias.

a(m)	Primera Prueba		Segunda Prueba		Tercera Prueba	
	R (Ω)	p (Ω m)	R (Ω)	p (Ω m)	R (Ω)	p (Ω m)
1	2.1	1.02	2.3	1.01	2.5	1.00
2	5.3	1.10	5.4	1.14	5.6	1.10
3	8.3	1.19	8.1	1.23	8.4	1.21
4	11.2	1.67	11.3	1.62	11.1	1.59
5	15.7	1.96	15.8	1.90	15.9	1.89
6	18.5	2.00	18.4	2.09	18.2	2.03
7	22.9	2.30	22.8	2.32	22.5	2.30
8	27.3	2.50	27.2	2.55	27.4	2.51
9	27.4	2.90	27.3	2.99	27.8	2.92

Nota. Elaborado por los autores

Tabla 12.*Mediciones De Resistencia Del Suelo A Distintas Distancias.*

a(m)	Cuarta Prueba		Quinta Prueba		Sexta Prueba	
	R (Ω)	p (Ω m)	R (Ω)	p (Ω m)	R (Ω)	p (Ω m)
1	2.0	0.9	2.1	1.02	2.9	1.09
2	4.9	1.02	5.2	1.19	5.8	1.18
3	7.8	1.14	8.0	1.29	8.3	1.23
4	11.1	1.60	11.3	1.52	11.2	1.56
5	15.3	1.83	15.4	1.89	15.3	1.84
6	18.1	2.09	18.2	2.01	18.5	2.06
7	22.6	2.25	22.9	2.20	22.6	2.37
8	26.4	2.44	27.1	2.40	26.4	2.59
9	27.1	2.61	27.6	2.91	27.2	2.92

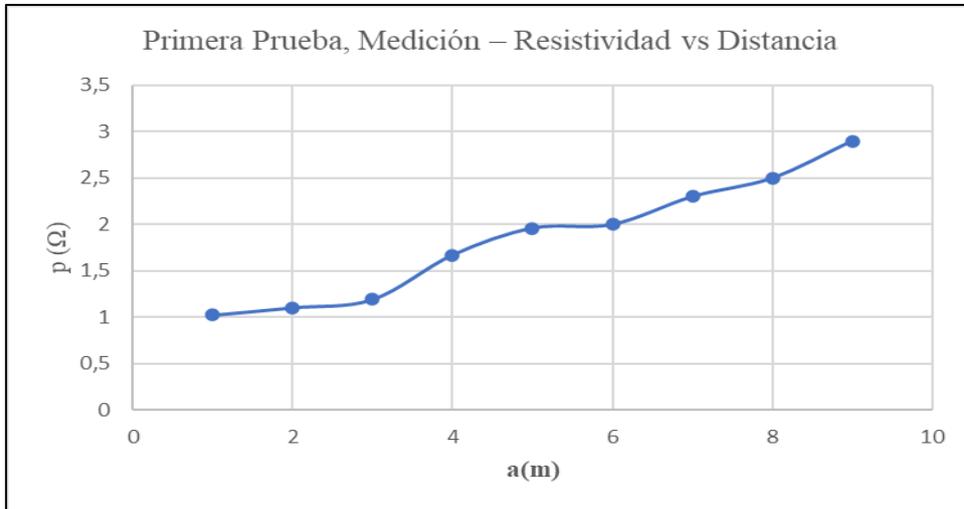
Nota. Elaborado por los autores**Tabla 13.***Mediciones De Resistencia Del Suelo A Distintas Distancias.*

a(m)	Séptima Prueba		Octava Prueba		Novena Prueba	
	R (Ω)	p (Ω m)	R (Ω)	p (Ω m)	R (Ω)	p (Ω m)
1	0.9	0.3	0.7	0.2	0	0
2	1.5	0.6	1.2	0.4	0	0
3	2.3	0.90	2.1	0.66	0	0
4	3.6	1.09	3.2	0.89	0	0
5	4.9	1.27	4.4	0.98	0	0
6	5.1	1.51	4.9	1.08	0	0
7	5.8	1.66	5.1	1.16	0.12	0.10
8	6.9	1.86	5.5	1.26	0.16	0.25
9	8.9	1.91	5.9	1.33	0.18	0.39

Nota. Elaborado por los autores

Figura 13.

Primera Prueba, Medición – Resistividad vs Distancia.

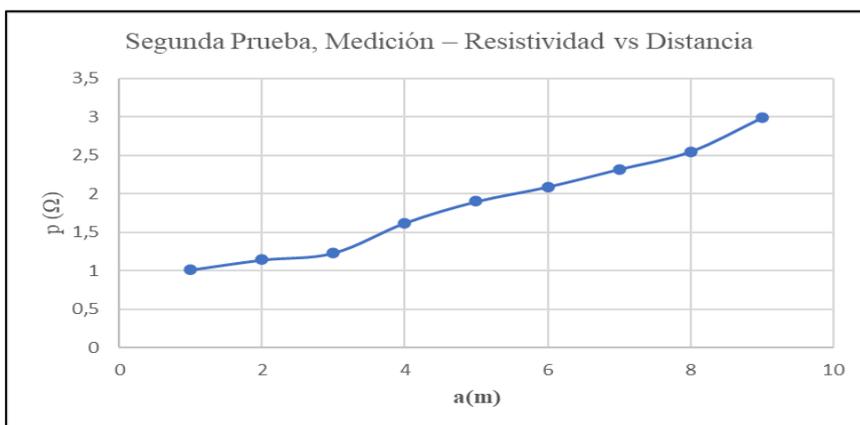


Nota. Elaborado por los autores

La primera medición realizada como se muestra en la figura 13 se llevó a cabo el día viernes 5 de mayo, la medición se realizó en diferentes distancias distribuidas en todo el día ya que el factor de temperatura puede variar los resultados obtenidos por el equipo. Obteniendo así el primer resultado de 1.02 p (Ωm) a un metro de distancia y el resultado con mayor distancia de 9 metros fue de 2.90 p (Ωm).

Figura 14.

Segunda Prueba, Medición – Resistividad vs Distancia.

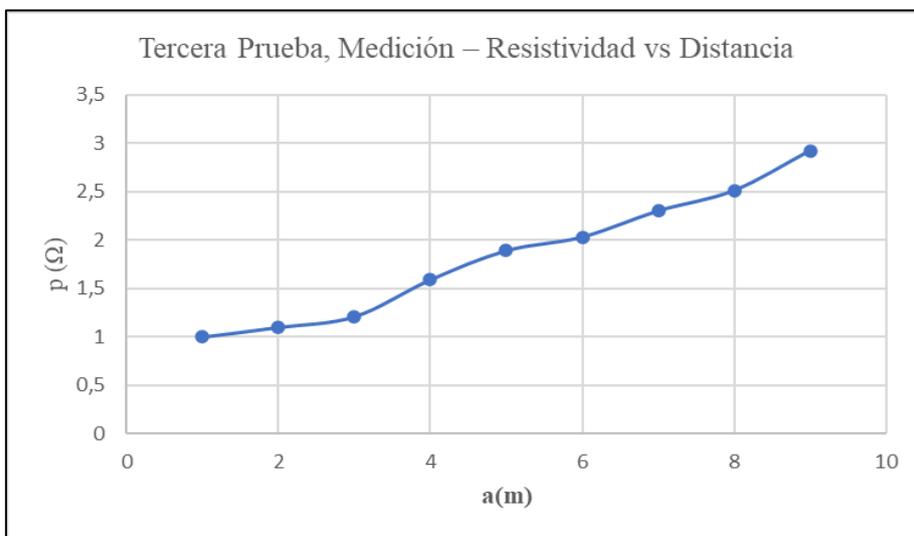


Nota. Elaborado por los autores

La segunda medición realizada como se muestra en la figura 14 fue el día jueves 18 de mayo, la medición se realizó en las horas de la noche en diferentes distancias distribuidas ya que el factor de temperatura puede variar los resultados obtenidos por el equipo. Obteniendo así el primer resultado de $1.01\text{ p }(\Omega\text{m})$ a un metro de distancia y el resultado con mayor distancia de $2.99\text{ p }(\Omega\text{m})$.

Figura 15.

Tercera Prueba, Medición – Resistividad vs Distancia.

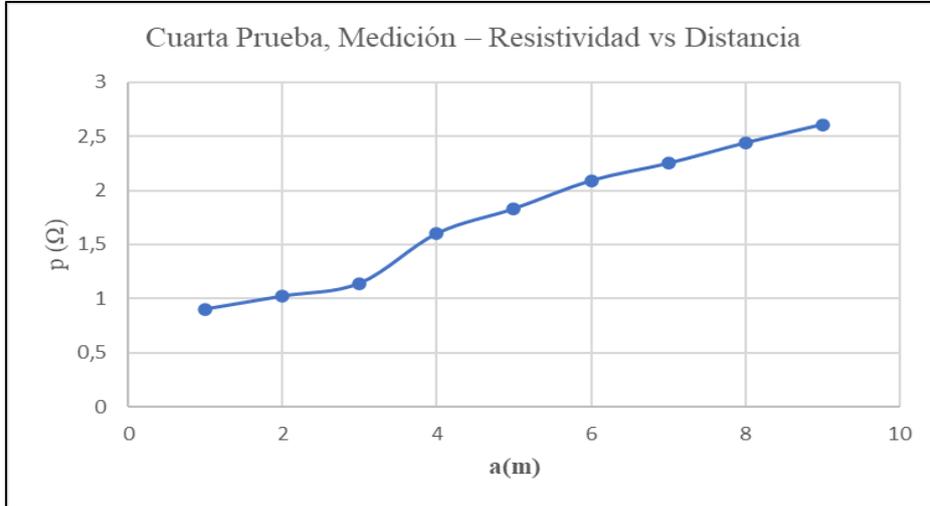


Nota. Elaborado por los autores

La tercera prueba realizada como se muestra en la figura 15 fue el lunes 30 de mayo, la medición se realizó en una hora determinada con el clima lluvioso ya que este tipo de lectura tiene que ser analizadas en todo tipo de clima y distintas áreas del lugar en donde no presenta mucha variación en la lectura a un metro de distancia a la varilla de tierra nos da $1.00\text{ p }(\Omega\text{m})$ y la mayor distancia $2.92\text{ p }(\Omega\text{m})$.

Figura 16.

Cuarta Prueba, Medición – Resistividad vs Distancia.

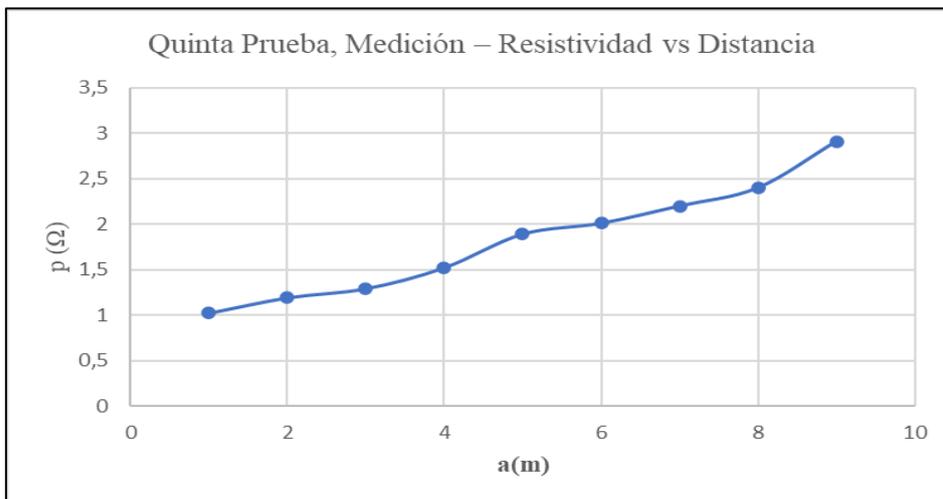


Nota. Elaborado por los autores

La cuarta prueba se realizó como se muestra en la figura 16 el lunes 5 de junio en un día soleado a 30° grados de igual forma no presenta mucha variación en la resistividad del terreno la primera medición de un metro de distancia fue de 0.9 p (Ωm) y la distancia máxima en tomar lectura fue de 2.61 p (Ωm).

Figura 17.

Quinta Prueba, Medición – Resistividad vs Distancia.

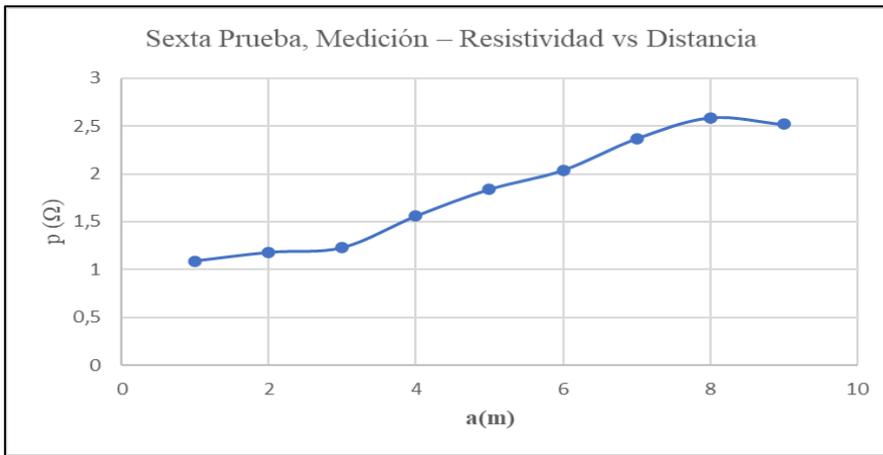


Nota. Elaborado por los autores

La quinta prueba se realizó como se muestra en la figura 17 el miércoles 14 de junio de igual forma se procedió a hacer el test de resistividad con el equipo dándonos como resultado en la primera medición hecha en el día de 1.02 ρ (Ωm) y como última prueba realizada en el día a mayor distancia de 9 metros dando así 2.91 ρ (Ωm).

Figura 18.

Sexta Prueba, Medición – Resistividad vs Distancia.



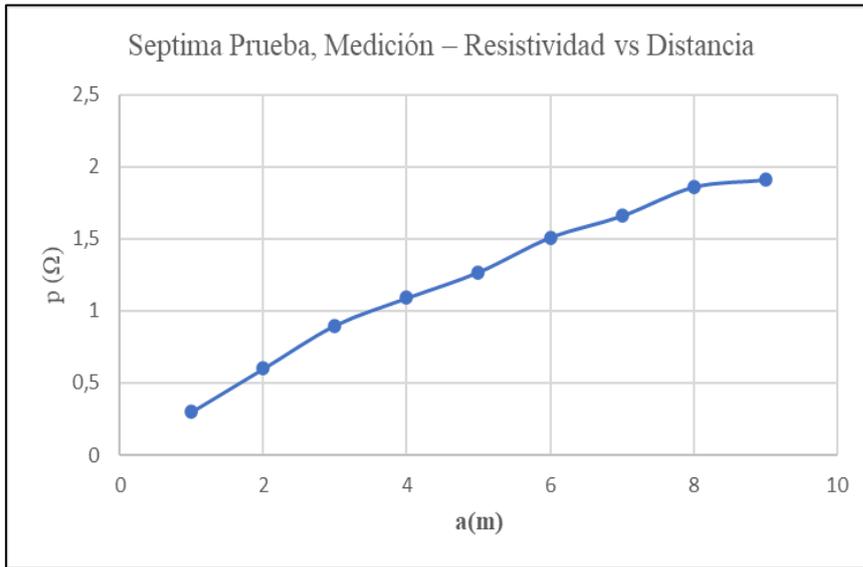
Nota. Elaborado por los autores

La sexta prueba fue realizada como se muestra en la figura 18 el día viernes 23 de junio en los lugares aledaños de los laboratorios dando como resultados las nuevas lecturas sin mucha brecha de diferencia en las anteriores lecturas, como primera lectura obtenida a un metro de distancia fue de 1.09 ρ (Ωm) y tomando como ultima lectura de 9 metros sin mucha diferencia a las anteriores lecturas de 2.92 ρ (Ωm).

Graficas del suelo después de utilizar aditivos para el terreno

Figura 19.

Séptima Prueba Después De Los Aditivos, Medición – Resistividad vs Distancia.

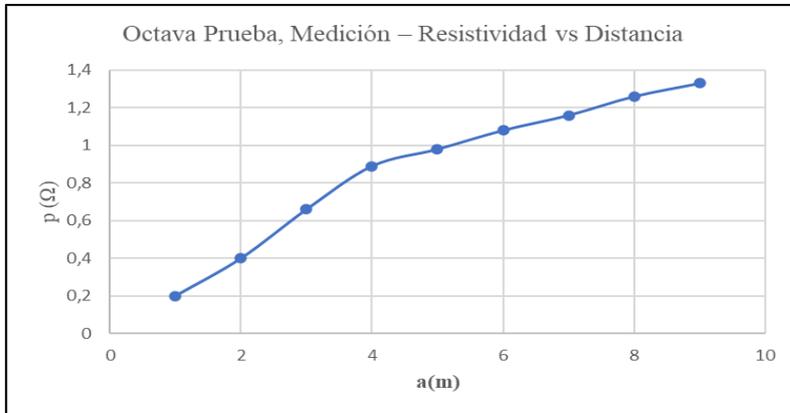


Nota. Elaborado por los autores

La séptima prueba realizada como se muestra en la figura 19 fue el día martes 4 de julio en esta nueva etapa de pruebas se implementó aditivo para el mejoramiento del terreno Activador Electrolítico Ultra dando como resultado nuevas lecturas más favorables al terreno disminuyendo la resistividad. La primera lectura tomada a partir de la utilización del aditivo en un metro de distancia es de 0.3 p (Ωm) dando resultados más favorables de la misma forma a la mayor distancia de 9 metros ejecutando el test de resistividad nos da 1.91 p (Ωm) disminuyendo drásticamente la resistividad del terreno, este aditivo tiene una vida útil de 20 años en zonas que mantienen una humedad.

Figura 20.

Octava Prueba Después De Los Aditivos, Medición – Resistividad vs Distancia.

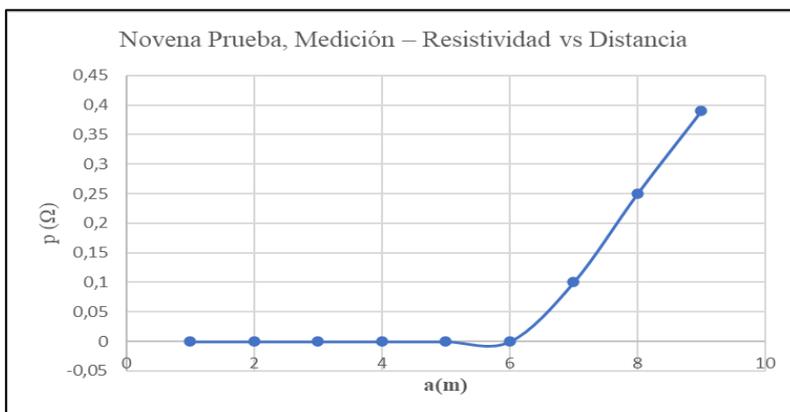


Nota. Elaborado por los autores

En la octava prueba realizada como se muestra en la figura 20 el día viernes 14 de julio se aplicó otro aditivo para un mayor mejoramiento del terreno (GEM) - Gel conductivo al 89% dando un mejor resultado en las lecturas tomadas disminuyendo aún más la resistividad del terreno, al transcurrir el día la primera lectura tomada fue de un metro de distancia dando como resultado 0.2 p (Ωm) y a la mayor distancia ejecutada de 9 metro el test de resistividad nos dio como resultado 1.33 p (Ωm), sabiendo recalcar que este tipo de mejorador de terreno tiene una vida útil mayor a 50 años.

Figura 21.

Novena Prueba Después De Los Aditivos, Medición – Resistividad vs Distancia.

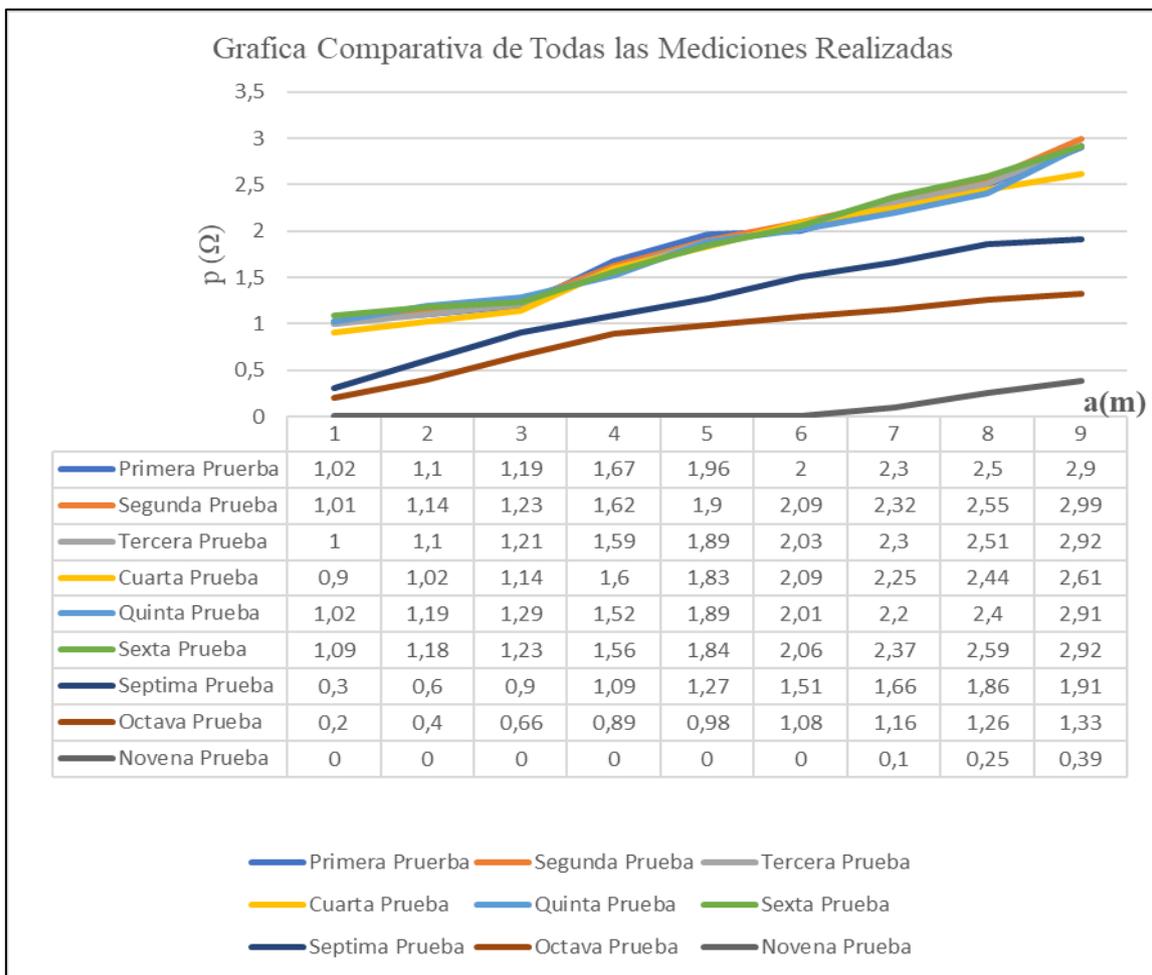


Nota. Elaborado por los autores

La novena prueba realizada como se muestra en la figura 21 fue hecha el día jueves 20 de julio se dejó impregnar el ultimo aditivo en el terreno dando mejores resultados una baja considerable en la resistividad, aplicamos el test de resistividad en los primeros 6 metros dando como resultados 0 p (Ωm) de resistividad a partir de los 6 metros en adelante se obtuvo lecturas bastantes bajas a 7 metros 0.10 p (Ωm) a 8 metros 0.25 p (Ωm) y en la última medición de 9 metros máximos en el área nos dio como resultado de resistividad 0.39 p (Ωm).

Figura 22.

Comparativa De Todas Las Mediciones Realizadas.



Nota. Elaborado por los autores

En esta figura 22 podemos presentar todas las pruebas realizadas en 3 meses donde podemos ver los resultados de los 2 primeros meses en donde las variaciones de las lecturas tomadas no

varían demasiado tomadas por el telurómetro SEW 4235ER en estos meses no se utilizaron aditivos para el mejoramiento del terreno y así poder bajar la resistividad del terreno en donde la mayor lectura tomada fue de 2.99 ρ (Ωm) a 9 metros de distancia de la estaca de tierra y la menor lectura tomada a 1 metro de distancia 0.9 ρ (Ωm). A partir de la aplicación de los aditivos que fueron 2 tipos de aditivos (Activador Electrolítico Ultra y (GEM) - Gel conductivo), en distintos días se aplicó preguntando los aditivos dando como resultados una baja considerable en la resistividad de terreno realizando el test de resistividad a 9 metros una vez aplicado los aditivos 0.39 ρ (Ωm) y a la menor distancia de 1 metro 0.0 ρ (Ωm).

12.3. Cálculos de la malla de puesta a tierra

Procederemos con el primer paso calcular:

12.3.1. Resistividad de diseño

$$p_d = (1 - R)p_a$$

Donde:

P_d = Resistencia de diseño o mejoramiento del terreno [Ω . m]

P_a = Resistividad aparente del terreno [Ω . m]

R = factor de mejora del aditivo al terreno

$$P_d = (1 - R)P_a$$

$$p_d = (1 - 0.89)2.99\Omega\text{m}$$

$$p_d = 0.3289\Omega\text{m}$$

12.3.2. Resistencia del electrodo

- Resistencia de contacto de barrilla
- Formula de Dwight

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \left(\ln \left(4 \cdot \frac{L}{r} \right) - 1 \right) [\Omega]$$

Donde:

ρ = es la resistencia del terreno{ Ω . m}

L = es la longitud de la varilla en metros

r = radio de la varilla en metros

$$R = \frac{0.3289\Omega m}{2\pi \cdot 2.30} \left(\ln \left(4 \cdot \frac{2.30}{7.93 \times 10^{-3} m} \right) - 1 \right) [\Omega]$$

$$R = 0.0227(\ln(1160.15) - 1)[\Omega]$$

$$R = 0.0227(7.056 - 1)[\Omega]$$

$$R = 0.1374[\Omega]$$

12.3.3. Resistencia de electrodos en paralelo

$$R_r = \frac{R_e \cdot F}{N}$$

R_r = resistencia individual del electrodo $[\Omega]$

F = factor acorde al numero de electrodos

N = numero de electrodos

Tabla 14.

Factor F Por Números De Electrodos. [3]

Electrodos	Factor F
2	1.16
3	1.29
4	1.36
6	1.52
8	1.68
12	1.80
16	1.92

Nota. Fuente [3], Elaborado por los autores

$$R_r = \frac{0.1374 \times 1.52}{6}$$

$$R_r = \frac{0.208}{6}$$

$$R_r = 0.034\Omega$$

12.3.4. Resistencia del conductor de la malla

$$R_c = \frac{P_d \cdot \log\left(2x \frac{L_c^2}{D \cdot h}\right)}{2.73x L_c} (\Omega)$$

R_c = Resistencia conductor de la malla [Ω]

P_d = Resistividad del terreno con mejora [$\Omega \cdot m$]

D = Diametro del conductor en metros [2, 1/0 o 2/0AWG]

L_c = Longitud total del conductor

H = Profundidad enterrada de cable en metros

$$R_c = \frac{0.3289x \log\left(2x \frac{17^2}{6.54x10^{-3} \cdot 0.4}\right)}{2.73x 17} (\Omega)$$

$$R_c = \frac{0.3289x \log(2x110474.006)}{2.73x 17} (\Omega)$$

$$R_c = \frac{0.3289x \log(220948.012)}{46.41} (\Omega)$$

$$R_c = \frac{0.3289x 5.344}{46.41} (\Omega)$$

$$R_c = \frac{1.757}{46.41} (\Omega)$$

$$R_c = 0.0378(\Omega)$$

12.3.5. Resistencia mutua

$$R_m = \frac{0.73x P_d x \log\left(2x \frac{L_c}{L}\right)}{L_c} [\Omega]$$

R_m = Resistencia mutua [Ω]

P_d = Resistencia del terreno con mejora [$\Omega \cdot m$]

L_c = Longitud total del conductor en metros

L = Longitud del electrodo utilizado en metros

$$R_m = \frac{0.73x 0.3289x \log\left(2x \frac{17}{2.30}\right)}{17} [\Omega]$$

$$R_m = \frac{0.73x 0.3289x \log(2x7.391)}{17} [\Omega]$$

$$R_m = \frac{0.240 \times \log(14.782)}{17} [\Omega]$$

$$R_m = \frac{0.240 \times 1.169}{17} [\Omega]$$

$$R_m = \frac{0.280}{17} [\Omega]$$

$$R_m = 0.0164 [\Omega]$$

12.3.6. Resistencia total de la malla

$$R_t = \frac{R_c \times R_r \times R_m^2}{R_c + R_r - 2 \times R_m} [\Omega]$$

R_t = Resistencia total de la malla [Ω]

R_c = Resistencia del conductor de la malla [Ω]

R_r = Resistencia de los electrodos en paralelo [Ω]

R_m = Resistencia mutua de la malla [Ω]

$$R_t = \frac{0.0378 \times 0.034 \times 0.0164^2}{0.0378 + 0.034 - 2 \times 0.0164} [\Omega]$$

$$R_t = \frac{3.456 \times 10^{-7}}{0.039} [\Omega]$$

$$R_t = 8.861 \times 10^{-6} [\Omega]$$

13. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

La implementación de un sistema de puesta a tierra para los laboratorios del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná tiene una importante influencia social. Este proyecto ayudará a los estudiantes al proporcionarles una mayor comprensión de los temas tratados en la carrera de electromecánica, ya que podrán poner en práctica los conceptos teóricos enseñados en los laboratorios. Este enfoque práctico beneficia el rendimiento de los estudiantes y, en última instancia, sus futuras carreras.

13.1. Impacto técnico

La implementación de un sistema de puesta a tierra para los laboratorios del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná tiene importantes efectos técnicos, como el aumento de la eficacia, la mejora de la gestión, la integración de sistemas, la recopilación y el análisis de datos, y la garantía de seguridad de los sistemas eléctricos en los laboratorios y en conjunción con los equipos eléctricos y electrónicos que puedan estar utilizando el sistema eléctrico.

13.2. Impacto social

La implementación de un sistema de puesta a tierra para los laboratorios del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná puede mejorar la eficiencia, promover el desarrollo tecnológico, capacitar a empleados y estudiantes y tener un impacto positivo en la utilización en los equipos que se encuentran dentro de los laboratorios.

14. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Tabla 15.

Presupuesto Del Proyecto

Cantidad	Descripción	Valor unitario	Valor total
1	Telurómetro new 4235 ER	2100	2100
6	barra copperweld	8.5	51
20	Suelda exotérmica	7.5	150
1	Molde en t	101	101
1	Molde en X	99	99
2	Aditivo tipo gel 89%	69	138
4	Activador electrolítico plus	48	192
25	Cable pelado 2/0	9.5	237.5
1	Chispero	15	15
1	Masilla selladora	49	49
1	Caja de borneras	10	10
12	Malla metálica	3.5	42
15	Sacos de graba	8	120
15	Libras de sementó	0.15	2.25
2	Argollas de presión	1.50	3
		Sub total	3309.75
		IVA 12%	397.14
		TOTAL	3706.89

Nota. Elaborado por los autores

15. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

15.1. Conclusión

- Se determinó la resistividad de los suelos con el uso del telurómetro (SEW 4235ER), en las cuales se tomó como referencia la lectura más alta en todas las pruebas realizadas que es de $2.99 \Omega\text{m}$ para poder realizar el diseño de la malla.
- Se obtuvo los datos de la resistencia de la malla en el lugar analizado por medio de las fórmulas de SCHWARZ dando como resultado 8.861×10^{-6} siendo esta resistencia muy baja y estando dentro de los parámetros pertinente.
- Se implementó el sistema de puesta a tierra ya teniendo los resultados del correcto dimensionamiento de la malla y bajo las normas de seguridad adecuadas.

15.2. Recomendaciones

- Es fundamental tener un conocimiento básico del equipo a utilizar, que es el telurómetro SEW 4235 ER, ya que esto podría ocasionar daños en el equipo o un accidente durante la instalación.
- Se recomienda desarrollar un plan de prueba y evaluación de la conexión a tierra, ya que ésta es un sistema de seguridad para nuestros aparatos eléctricos y electrónicos.
- Se recomienda que, en el espacio del terreno utilizado para la instalación del sistema de puesta a tierra, ser un espacio libre ya que la malla implementada es didáctica (sobre puesta).

16. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] R. C. RUARAS, «PROYECTO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA NORMALIZADA PARA CENTROS DE TRANSFORMACION EN EL SECTOR DEL NUEVO AEROPUERTO DE QUITO PARROQUIA DE TABABELA,» *ESCUELA POLITECNICA NACIONAL*, 2008.
- [2] E. PORTAL, RIGIDEZ DIELECTRICA: ES REQUISITO CONOCERLA PARA CALCULAR Y DISEÑAR LA PUESTA A TIERRA DE SISTEMAS, 2023.
- [3] R. A. C. GUARAS, PROYECTO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA, 2008.
- [4] R. FIERRO Y M. FLORES, «DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTO A TIERRA DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DEL NUEVO CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - SEDE GUAYAQUIL,» 2010.
- [5] C. G. CRUZ, «ESTUDIO GEOELÉCTRICO DE LOS SUELOS».
- [6] J. R. ALVARADO, «SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA-MEDIDAS ELECTRICAS II,» 2011.
- [7] S. H. V. LUIS, «DISEÑO DE MALLA PUESTA A TIERRA-ZONA DE CANCHA COLEGIO DOMINGO COMIN,» 2010.
- [8] E. IBARRA, «BARRA QUIMICA,» 2019.
- [9] P. D. M. PARRA, «ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS CON LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS GRANULARES EN LA ZONA 4 DE LA CIUDAD DE AMBATO,» 2019.
- [10] J. P. BUITRAGO, M. N. MAYORGA Y K. Y. MEDINA, «CORROSION DE SUELOS,» 2016.
- [11] F. G. MARTÍNEZ, «LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUELO COMO INDICADOR DE LA CAPACIDAD DE USO DE LOS SUELOS DE LA ZONA NORTE DEL PARQUE NATURAL DE LA ALBUFERA DE VALENCIA,» 2017.
- [12] M. I. V. CÁCERES, «COMPARACIÓN DE LA ANISOTROPÍA DE LA RESISTIVIDAD DEL SUBSUELO FRACTURADO EN ZONAS ALEDAÑAS A DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS, E IMPLICACIONES HIDROGEOLÓGICAS PARA UN ÁREA RURAL DEL MUNICIPIO DE LOS SANTOS, SANTANDER.,» 2021.

- [13] G. F. S. VENTURA, «ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LOS EFECTOS DE LA CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS EN VIGAS CONTINUAS DE HORMIGÓN ARMADO,» 2013.
- [14] F. A. N. BARRERA, «DISOLUCIÓN ANÓDICA DEL NIQUEL EN MEDIO ÁCIDO CARACTERIZACIÓN DE PROBETAS TERMOPLÁSTICAS CONDUCTORAS DEL TIPO GRAFITO/NIQUEL-POLIPROPILENO,» 2009.
- [15] L. G. N. VALLES, «ESTUDIO DEL DESPRENDIMIENTO CATÓDICO DE RECUBRIMIENTOS ORGÁNICOS APLICADOS EN SUPERFICIES DE ACERO,» 2008.
- [16] J. B. SEGARRA, «DESARROLLO Y OPTIMIZACIÓN DE RECUBRIMIENTOS DE ALEACIÓN MCALY CON DISPERSIÓN DE CARGAS CERÁMICAS OBTENIDOS POR PROYECCIÓN TÉRMICA SOSTENIBLE PARA APLICACIONES DE RESISTENCIA A OXIDACIÓN A ALTAS TEMPERATURAS,» 2016.
- [17] U. C. MADRID, «PILA DE AIREACIÓN DIFERENCIAL,» 2021.
- [18] F. A. CARCEDO, «MANUAL DE INGENIERIA GEOLOGICA».
- [19] N. C. OSORIO, «ESTUDIO DE LA MEJORA DE TERRENO MEDIANTE COLUMNAS SUELO-CEMENTO TIPO MIXPILE,» 2015.
- [20] J. DONDOZO, «APUNTES SOBRE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA PARA EDIFICIOS INTELIGENTES PARTE2, APUNTES DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA,» 2014.
- [21] U. D. I. U. -. L. MANÁ, LA MANA, 2022.
- [22] M. GOOGLE, 2023.
- [23] F. ECHEVERRIA, «INFORME VERIFICACION INICIAL,» 2022.
- [24] C. ARNOUX, «CONTROLADORES DE TIERRA Y RESISTIVIDAD-GUÍA DE LA MEDICIÓN DE TIERRA».
- [25] J. S. R. CASTAÑO Y E. A. C. PLATA, «SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA: DISEÑO CON IEEE-80 Y EVALUADO CON MEF,» 2010.
- [26] IEEE, GUÍA PARA LA SEGURIDAD DE PUESTA A TIERRA, 1961.
- [27] FLUKE, RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA, 2013, 2014, 2017.

- [28] C. QUINGA Y M. GUALOTUÑA, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA LA PROTECCIÓN ELÉCTRICA DEL MINI CENTRO COMERCIAL "MI BALCON",» 2014.
- [29] Á. M. D. JESÚS, «ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA».
- [30] «ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA,» *CONOCIMIENTOSWEB.NET*.
- [31] L. CONSOLIDADA, «REAL DECRETO 337/2014, DE 9 DE MAYO, POR EL QUE SE APRUEBAN EL REGLAMENTO SOBRE CONDICIONES TÉCNICAS Y GARANTÍAS DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN Y SUS INSTRUCCIONES TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS ITC-RAT 01 A 23.,» *AGENCIA ESTATAL BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO*, 2014.
- [32] F. IBÉRICA, «RESISTENCIA DE TIERRA».
- [33] A. ORMAZAVAL, «DISEÑO Y CALCULO DE MALLAS DE PUESTA A TIERRA,» 2015.
- [34] C. D. KLEIN, «EMISIONES DE N₂O DE LOS SUELOS GESTIONADOS Y EMISIONES DE CO₂ DERIVADAS DE LA APLICACIÓN DE CAL Y UREA».
- [35] A. REYES, MEDIDOR DE RESISTENCIA Y RESISTIVIDAD DE TIERRA, NUEVO LEÓN , 2023.
- [36] A. J. & E. C., IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA LOS LABORATORIOS DEL BLOQUE B DE LA UNNIVERRSIDAD TECNICA DE COTOPAXI EXTENSION LA MANÁ, LA MANÁ, 2023.

17. ANEXOS

Anexo 1. Hoja de vida del tutor del proyecto de investigación

HOJA DE VIDA

1. DATOS PERSONALES



Apellidos y Nombres:	Pazuña Naranjo William Paul
Lugar y Fecha de nacimiento	Latacunga, 02 de Noviembre de 1993
No. Cédula	050333859-2
Dirección	San Felipe –calle Simón Rodríguez y Uruguay
Teléfonos	032252645 0998932177
Correo electrónico	william.pazuna2@utc.edu.ec
Estado civil	Soltero

2. FORMACIÓN ACADÉMICA

Niveles	Nombre de la Institución	Especialización	Título	Año de Finalización
Primaria	Unidad Educativa “San José La Salle”		Culminación de primaria	2005
Secundaria	I.T.S “Ramón Barba Naranjo”	Instalaciones, Equipos y maquinas Eléctricas	Bachiller Técnico Industrial	2011
Superior	Universidad Técnica de Cotopaxi	Ingeniería Eléctrica	Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia	2018
	Universidad Técnica de Cotopaxi	Maestría en Electricidad Mención “Sistemas Eléctricos de Potencia”	Magister en Electricidad Mención “Sistemas Eléctricos de Potencia	2021

3. REFERENCIAS LABORALES

Empresa	Tutor Empresarial	Cargo	Teléfono
D. Cobo & Karolys Cía. LTDA.	Ing. José Karolys	Gerente Compañía	0999774704
Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A.	Ing. Virginia Catota	Jefa Departamento Cartera	099 256 0180
DIMSEL	Ing. Edison Culqui	Propietario	0958827194
Instituto Superior Tecnológico “Guayaquil”	Ing. Cristina Sanchez	Líder de la unidad de Talento Humano	0984456590
Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A.	Ing. Mayra Rubio	Jefa Departamento De Medidores	0999295310

Anexo 2. Hoja de vida de los autores

HOJA DE VIDA

DATOS INFORMATIVOS



APELLIDOS : Abrigo Vivas
NOMBRES : Jason Enrique
FECHA DE NACIMIENTO : 27 de octubre de 1997
EDAD : 25 años
CÉDULA DE IDENTIDAD : 125108030-3
NACIONALIDAD : Ecuatoriana
ESTADO CIVIL : Soltero
DOMICILIO : El Carmen
TELÉFONO : 0939975870
E-MAIL : jason.abrigo0303@utc.edu.ec

ESTUDIOS REALIZADOS

PRIMARIA : Escuela “Narciso Cerda Maldonado”
SECUNDARIA : Unidad Educativa “La Maná”
BACHILLER EN : Informática
TERCER NIVEL : Cursando 8vo semestre de Ingeniería en electromecánica
UNIVERSIDAD “TÉCNICA DE COTOPAXI” EXT. LA MANÁ

REFERENCIAS PERSONALES

Sr. Ariel Del Valle Cel. 0980398805
MSc. Oscar Abrigo Cel. 0980897683

CERTICADOS OBTENIDOS

- I congreso internacional de investigación científica UTC - La Maná 2018.
- Curso de auxiliar en domótica 2019.
- IV congreso internacional de investigación científica UTC - La Maná 2019.

HOJA DE VIDA

DATOS INFORMATIVOS

APELLIDOS : Enriquez Toro
NOMBRES : Cristian Fernando
FECHA DE NACIMIENTO : 17 de marzo de 1997
EDAD : 25 años
CÉDULA DE IDENTIDAD : 190088539-1
NACIONALIDAD : Ecuatoriana
ESTADO CIVIL : Soltero
DOMICILIO : El Carmen
TELÉFONO : 0990242853
E-MAIL : Cristian.enriquez5391@utc.edu.ec



ESTUDIOS REALIZADOS

PRIMARIA : Escuela “Federación Deportiva de Cotopaxi”
SECUNDARIA : Unidad Educativa “La Maná”
BACHILLER EN : En Ciencias
TERCER NIVEL : Cursando 8vo semestre de Ingeniería en electromecánica
UNIVERSIDAD “TÉCNICA DE COTOPAXI” EXT. LA MANÁ

REFERENCIAS PERSONALES

Sra. Neri Toro Cel. 0991394944

Srta. Marley Enríquez Cel. 0995285167

CERTICADOS OBTENIDOS

- I congreso internacional de investigación científica UTC - La Maná 2018.
- Curso de auxiliar en domótica 2019.
- IV congreso internacional de investigación científica UTC - La Maná 2019.

Anexo 3. Manual

Medidor digital de resistencia y resistividad de tierra

SW-4235

Este medidor ha sido diseñado y probado según EN61010-1, EN 61326-1, EN-61557-1, EN 61557-5 y otros estándares de seguridad. Cuanto mayor sea la categoría, mayor riesgo hay de que un voltaje alto sobrecargue un circuito y cause daños eléctricos y físicos. Generalmente, cuanto mayor sea el grado CAT, más seguro es la calificación.

NOTAS DE SEGURIDAD

- Antes de intentar utilizar o realizar el mantenimiento de este detector, lea atentamente la siguiente información de seguridad. mantenimiento de este detector.
- Use el medidor únicamente de la manera especificada en este manual. De lo contrario, la protección que brinda este medidor puede impedirse.
- Condiciones ambientales evaluadas:
 1. Uso en interiores y exteriores
 2. Categoría de instalación IV 300V
 3. Grado de contaminación II
 4. Altitud de hasta 2000m
 5. Humedad relativa de hasta 80% máxima
 6. Temperatura ambiente de 0 a 40°C
- Observe los símbolos eléctricos internacionales enlistados a continuación:



El detector está completamente protegido por un aislamiento doble o reforzado.



Advertencia, riesgo de choque eléctrico.



Precaución, consulte este manual antes de operar este detector.  Terminal de tierra (suelo)



El equipo cumple con las directivas actuales de la Unión Europea.

Características

- Controlado por microprocesador con sofisticadas medidas de seguridad.
- Prueba de resistencia de tierra (p)
- Se pueden guardar 200 resultados de medición en la memoria y recordarlos en la pantalla.
- La distancia entre picas de tierra auxiliares es de 0,105 m.
- Pantalla LCM
- Pruebas de resistencia de tierra en 20Ω , 200Ω , $2k\Omega$.
- Medición de voltaje de tierra: 0-300V AC
- Revisión de punta C automática
- Revisión de punta P automática
- Prueba con 2, 3 y 4 cables
- Apagado automático
- Retención de registros
- Estándares de seguridad: EN 61010-1 CAT IV 300V, IEC 61557-1, IEC 61557-5, EN 61326- 1

ESPECIFICACIONES

Tabla 16.

Especificaciones. [35]

Rangos de medición	Resistencia de tierra: 0- 20Ω , 0- 200Ω , 0- $2k\Omega$ Resistividad de tierra 0.06~6.28 $k\Omega.m$ 0.62~62.8 $k\Omega.m$ 6.28~628 $k\Omega.m$ Voltaje de tierra: 0-300V AC
Precisión	Resistencia de tierra: $\pm 2\%$ Resistividad de tierra: $p = 2 \times \text{foto} \times L \times R$ Voltaje de tierra: $\pm 2\%$
Resolución de la resistencia de tierra	0- 20Ω : 0.01Ω 0- 200Ω : 0.1Ω 0- $2k\Omega$: 1Ω
Sistema de medición	Resistencia de tierra por el inversor de corriente constante 820Hz aprox. 2 mA

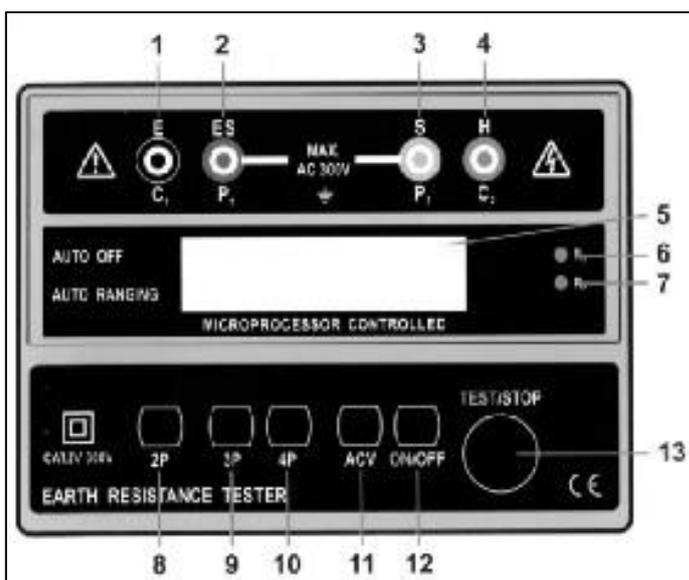
Temperatura y humedad	Funcionamiento: 0°C a 50°C ≤80%RH Almacenado: -10°C a ~60°C ≤80%RH
Suministro de energía	1.5V (AA) x 8
Dimensiones	250x190x110mm (largo, ancho, altura)
Peso	1430g aproximadamente (con baterías incluidas)
Accesorios	Puntas de pruebas (Roja-15m, Negra-10m, Amarilla-10m, Verde-5m) Varillas de tierra auxiliares Manual de instrucciones Estuche Baterías

Nota. Elaborado por los autores

DISEÑO DE INSTRUMENTO COMO SE PARECIA EN LA FIGURA 17-1

Figura 23.

Diseño Del Instrumento. [35]



Nota. Elaborado por los autores

1. Borne C1 (Conexión de la punta de prueba negra)
2. Borne P1 (Conexión de la punta de prueba verde)
3. Borne P2 (Conexión de la punta de prueba amarilla)
4. Borne C2 (Conexión de la punta de prueba roja)
5. Pantalla LCM
6. LED Rc
7. LED Rp

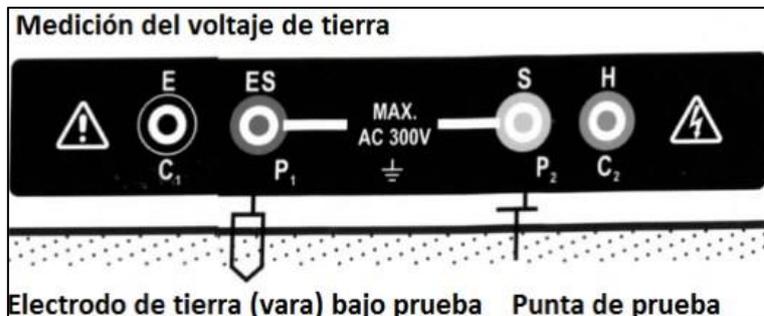
8. Botón de guardar
9. Botón de cursor
10. Botón de cursor
11. Botón ESC
12. Botón de encendido (ON/OFF)
13. Botón de Prueba/Pausa (TEST/STOP)

MÉTODOS DE MEDICIÓN

- Revisión del voltaje de baterías
 - a) Antes de hacer pruebas, presione el botón **ON/OFF**, cuando se muestra “BATTERY: LOW” en la pantalla, reemplace las baterías con unas nuevas.
 1. Antes de medir, sustituya las pilas que muestren "BATTERY: LOW" en la pantalla.
 2. Revisión del voltaje de tierra
 - a) Conexión de las puntas de pruebas como se aprecia en la figura 17-2.

Figura 24.

Salidas De Puntas. [35]



Nota. Elaborado por los autores

- b) Presione el botón “**ON/OFF**”, “Select function
<.....2P.....>” se muestra en la pantalla.
- c) Presione el botón “▶” 3 veces hasta que “Select function
<.....ACV.....>” aparece en la pantalla.
- d) Presione el botón “**TEST/STOP**”.
- e) Tomar una lectura

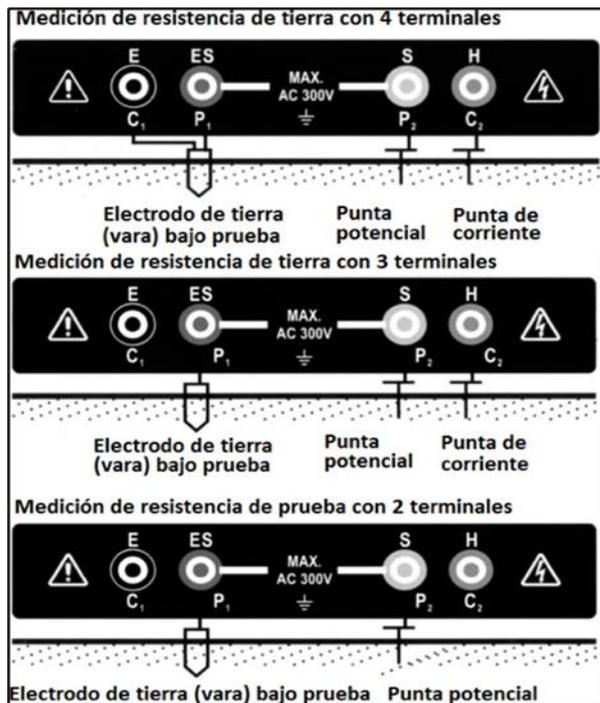
MEDICIONES DE RESISTENCIA DE TIERRA

Si las mediciones se realizan con las puntas de prueba dobladas o unidas entre sí, la inducción puede afectar a los resultados. Las sondas deben estar separadas cuando estén conectadas como e puede visualizar en la figura 17-3.

- Sistema de cableado: Selección: Presione el botón “ON/OFF” y “▶”. Seleccione “2P”, “3P”, “4P”.
- Inserte las tres varillas de prueba auxiliares. La distancia entre las picas de tierra auxiliares debe ser de 5 a 10 m.
- Conexión de las puntas de prueba

Figura 25.

Mediciones De Resistencia A Tierra. [35]



Nota. Elaborado por los autores

NOTAS:

Revise los siguientes pasos antes de continuar con mediciones:

1. Cuando se encienda el LED Rc, asegúrese de que las picas auxiliares de tierra están bien conectadas como se muestra en la figura 17-4.
2. Indicaciones para “Rc” y “Rp”

Rc: Cuando el LED Rc se ilumina, indica que no hay salida de corriente de prueba. Detenga la prueba y revise los puntos de prueba correspondientes.

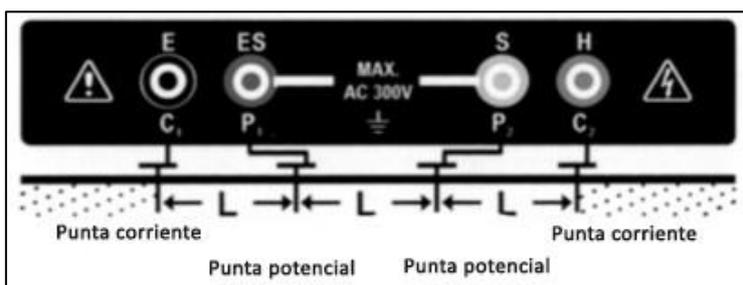
Rp: Cuando se enciende el LED Rp, el valor "R" se muestra en la pantalla LCD como

“>2kΩ”, esto significa que el valor de la resistencia de tierra en la prueba es mayor que 2kΩ.

3. Valoración de la resistividad de tierra (p)
 - a) Selección del sistema de cableado: Accione el botón “▶” 4 veces, seleccione “Resistividad (p)”
 - b) Presione el botón “TEST/STOP”, “Setting length -< xm >+” aparece en la pantalla, “▶” contar hacia arriba, “◀” contar hacia abajo; puede ajustar la longitud a 1 ~50m,
 - c) Conexión de las puntas de prueba

Figura 26.

Mediciones De Resistencia A Tierra. [35]



Nota. Elaborado por los autores

- d) Accione el botón “TEST/STOP” y tome la lectura.

PRECAUCIÓN

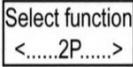
Inserte las cuatro varillas de tierra auxiliares profundamente en el suelo. Deben espaciarse a intervalos de 1-30 m. La profundidad no debe ser superior al 5% de la distancia entre las varillas.

- Cuando el intervalo entre varillas de tierra auxiliares sea de 5 m, las varillas deben clavarse a una profundidad de 25 cm o menos.

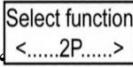
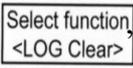
4. Función de almacenamiento

Accione “SAVE” puede almacenar los datos de prueba y mostrar “Almacenamiento No.”

5. Mostrar registros

- Accione el botón “ON/OFF”, “” aparece en la pantalla.
- Presione el botón “▶” 5 veces hasta que “” aparezca en la pantalla.
- Presione el botón “TEST/STOP”.
- Presione “+” o “-” seleccione “Leer registro de datos”.

6. Borrar registros

- Accione el botón “ON/OFF”, “” aparece en la pantalla.
- Accione “▶” 6 veces hasta que “” aparezca en la pantalla.
- Accione el botón “TEST/STOP”, se muestra el mensaje “Are yo usure?”
- Presione “TEST/STOP” se muestra “Successful !”
- Presione “TEST/STOP” se muestra “No Log Data”.

MANTENIMIENTO

- Reemplazo de baterías

Advertencia

No mezcle baterías viejas con baterías nuevas

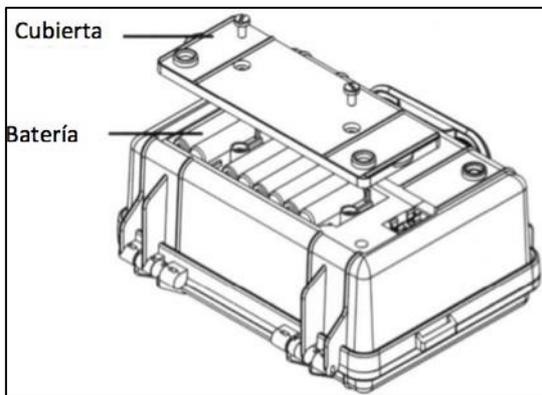
Instalar las baterías en la orientación, como se muestra dentro del compartimiento de la batería, manteniendo la polaridad correcta.

Sustituya las pilas como se indica a continuación cuando la pantalla LCD muestre "Batería: Baja": Desconecte las puntas de pruebas del instrumento y retire la cubierta inferior junto con las baterías.

1. Retire los cables de prueba del instrumento y la tapa inferior, así como las pilas.
2. Sustituya las pilas por ocho pilas AA de 1,5 V como nos muestra la figura 17-5, asegurándose de que la polaridad es la correcta. Vuelva a colocar el sujetador de baterías y la cubierta.

Figura 27.

Telurómetro, Cambio De Baterías. [35]



Nota. Elaborado por los autores

Reemplazo de fusible:

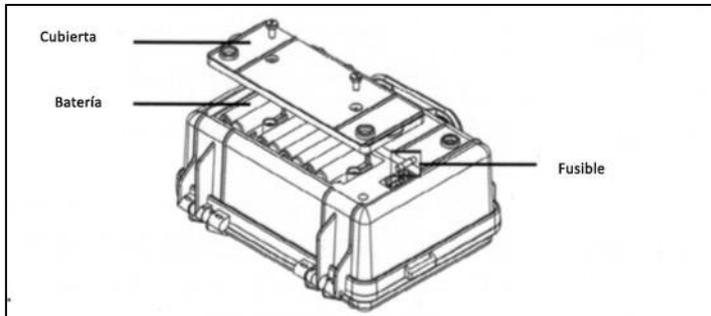
Advertencia

Cuando reemplace el fusible, se debe reemplazar con la misma especificación que el original como nos indica la figura 17-6.

1. pulse el botón "ON/OFF" para proceder apagar el equipo.
2. Abra y retire la cubierta de la batería
3. Reemplace el fusible por uno nuevo. (0.5A/500V 5x20mm)
4. Después de reemplazar el fusible, vuelva a colocar la tapa y asegúrela con los tornillos.

Figura 28.

Cambio De Baterías. [35]



Nota. Elaborado por los autores

- Limpieza y almacenamiento

Para evitar descargas eléctricas o daños en el medidor, no permita que entre agua dentro de la caja.

Limpie la caja regularmente con un paño húmedo y jabón; evite el uso de abrasivos o disolventes.

Anexo 4. Aditivos para el terreno

Activador Electrolítico Ultra

El activador o agregado electrolítico ULTRA de DFL sirve para mejorar los suelos de muy alta resistividad, aumentando la conductividad eléctrica para obtener descensos muy rápidos de la resistencia de puesta a tierra. Es un producto diseñado para efectos de mejoramiento, activación y mantenimiento de todo tipo de sistema de puesta a tierra.

Normativas y ensayos:

IEC 62561-7, IEC 62305, NEC, UNE 21186.

Características:

- Material 100% mineral
- Color azul
- Presentación 1 galón
- Material ecológico y biodegradable

Garantía:

20 años en zonas que mantienen una
humedad.



Mejorador de suelo (GEM) - Gel conductivo

El GEL-25 es un material elaborado a base de silicato hidratado que mejora el rendimiento, habilidad y extiende el tiempo de vida útil de cualquier sistema de puesta a tierra, especialmente en suelos con alta resistividad. Tiene una fórmula que le permiten acelerar el proceso de compactación y conductividad eléctrica en sistemas puestas a tierra para reducir la resistencia y mantenerla baja de manera prolongada

Características y beneficios:

- Cumple las normas:
 - IEC 62561-7, ASTM G187, ASTM G57, ANSI 60
- Baja Resistividad al 89%
- Requiere mantenimiento
- Vida útil mayor a 50 años
- Disminuye la corrosión (0% sal y pH neutro)
- Alta absorción de agua (higroscópico)
- Respetuoso con el medio ambiente



Anexo 5. Evidencias fotográficas

Figura 29. Preparación Del Terreno / Cavity Para Las Barras Copperweld.



Nota. Elaborado por los autores

Figura 30. Colocación De Las Barras / Nivelación De Las Barras Copperweld



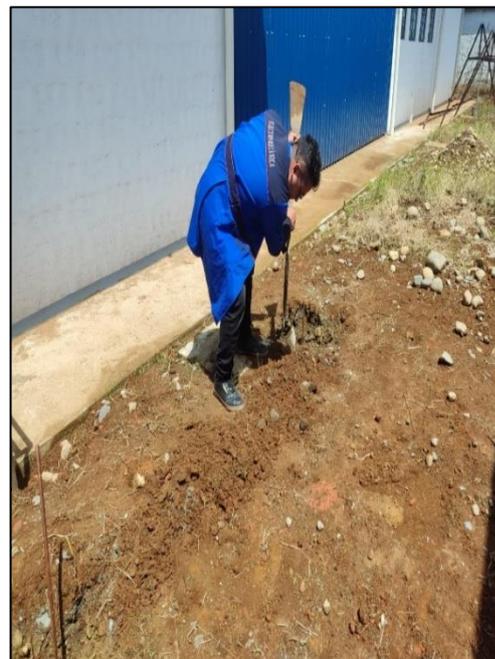
Nota. Elaborado por los autores

Figura 31. Guías para los auditores / Aplicación de aditivos



Nota. Elaborado por los autores

Figura 32. Nivelación de la grava / Tapado de aditivos



Nota. Elaborado por los autores

Figura 33. Desmontaje de maleza / Canal de aditivos



Nota. Elaborado por los autores

Figura 34. Toma de lecturas en el terreno / Toma de lecturas en el terreno



Nota. Elaborado por los autores

Figura 35. Lectura del Telurómetro / Toma de lecturas en el terreno



Nota. Elaborado por los autores

Figura 36. Iniciando lectura / Verificación de las lecturas



Nota. Elaborado por los autores

Figura 37. Lectura de resistividad sin aditivos / Lectura de resistencia sin aditivos



Nota. Elaborado por los autores

Figura 38. Lectura de resistividad con aditivos / Lectura de resistencia con aditivos



Nota. Elaborado por los autores

Anexo 6. Aval de traducción

AVAL DE TRADUCCIÓN

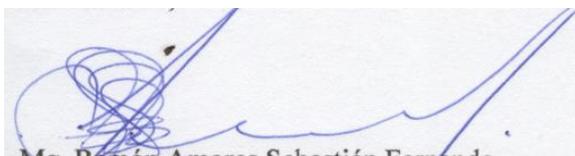
En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que:

La traducción del resumen al idioma inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA LOS LABORATORIOS DEL BLOQUE B DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ” presentado por: Abrigo Vivas Jason Enrique Y Enríquez Toro Cristian Fernando, egresado de la Carrera de: Ingeniería Electromecánica, perteneciente a la Facultad de Ciencias de Ingeniería y Aplicadas, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

La Maná, agosto del 2023

Atentamente,



Mg. Ramón Amores Sebastián Fernando
DOCENTE DEL CENTRO DE IDIOMAS
C.I: 050301668-5

Anexo 7. Certificado Anti plagio

