

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Facultad De Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Carrera de Electricidad



TEMA:

PROPUESTA DE PROTOCOLO DE MEDICIÓN CON BASE A UN ESTUDIO
COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL
TERRENO.

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Eléctrico

Autor:

Jordan Alexander Vallejos Cadena

Director:

MSc. Ramiro Mauricio Vásquez Villarruel

Ibarra, 2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DEL CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100457701-9
APELLIDOS Y NOMBRES:	Vallejos Cadena Jordan Alexander
DIRECCIÓN:	Calle Simón Bolívar y 12 de febrero-Antonio Ante
EMAIL:	jvallejosc@utn.edu.ec
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL: 0996231441

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	PROPUESTA DE PROTOCOLO DE MEDICIÓN CON BASE A UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.
AUTOR (ES):	Jordan Alexander Vallejos Cadena
FECHA: DD/MM/AAAA	06/01/2024
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Eléctrico
ASESOR/DIRECTOR:	Ing. Ramiro Vásquez

Constancia

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 6 días del mes de 1 de 2024

EL AUTOR:



Vallejos Cadena Jordan Alexander

C.I. 100457701-9



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

Ing. Ramiro Mauricio Vásquez Villarruel MSc.

Certificación

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante: Vallejos Cadena Jordan Alexander, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado "PROPUESTA DE PROTOCOLO DE MEDICIÓN CON BASE A UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO". Para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico: aprobando la defensa, impresión y empastado.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ramiro Vásquez', is written over a horizontal dotted line.

Ing. Ramiro Mauricio Vásquez Villarruel MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado principalmente a mis padres que con su ardua labor me han llevado por el sendero del bien con amor y confianza, enseñándome los principios y valores que componen la vida, gracias por creer en mí; como recompensa llega ver plasmado el sueño de mis padres, mi titulación como Ingeniero Eléctrico.

A mis hermanas que aportaron con su granito de arena en mi formación personal y darme el ejemplo que con dedicación y esfuerzo todo es posible.

Vallejos Cadena, Jordan Alexander

Agradecimiento

A Dios por darme vida, salud y sabiduría en cada día de mi vida.

A mis padres que han sido el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio.

A mi tutor Ramiro Vásquez, Magister en Ingeniería Eléctrica de Distribución. Sin usted y sus virtudes, su paciencia y constancia este trabajo no lo hubiese logrado tan fácil. Sus consejos cuando no salían de mi pensamiento las ideas para escribir lo que hoy he logrado muchas gracias.

A los docentes que sus palabras fueron sabias, sus conocimientos rigurosos y precisos, a ustedes queridos profesores les debo mis conocimientos. Donde quiera que vaya, los llevaré conmigo en mi transitar profesional.

Y finalmente, a mis compañeros y amigos con quienes compartí más que una aula, alegrías, triunfos y trabajo en equipo.

Vallejos Cadena, Jordan Alexander

Índice

Resumen	XII
Abstract	XIII
Contextualización	XIV
Planteamiento Del Problema	XVII
Justificación	XVIII
Alcance	XX
Objetivo General	XXI
Objetivos Específicos	XXI
Capítulo 1	1
Marco Teórico.....	1
1.1 Definición de un Sistema de Puesta a tierra (SPT)	1
1.2 Métodos de medición de resistividad del suelo.....	2
1.2.1 Método dipolo-dipolo	2
1.2.2 Método de los dos puntos (polo-polo)	4
1.2.3 Método polo-dipolo	5
1.2.4 Método de los cuatro puntos	7
1.3 Parámetro de resistividad del terreno	11
1.4 Factores que afectan la resistividad.....	12
1.4.1 El tipo de suelo	12
1.4.2 La humedad	14
1.4.3 La temperatura.....	14
1.4.4 Las sales y minerales	14
1.4.5 pH del suelo.....	14
1.5 Especificaciones para corregir la resistividad.....	16
1.5.1 Incremento de la cantidad de electrodos en paralelo	16
1.5.2 Incremento del diámetro del electrodo.....	16
1.5.3 Incremento de la longitud de penetración del electrodo	16
1.5.4 Tratamiento del terreno	17
1.6 Normativas nacionales e internacionales de sistemas de puesta a tierra	17
1.6.1 Normativas Nacionales:	17
1.6.2 Las normativas internacionales IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), que se aplican a los sistemas de puesta a tierra.....	18
Capítulo 2	19
Análisis comparativo de los Métodos de Medición de Resistividad del Terreno.....	19
2.1 Metodología	19
2.2 IPI2WIN.....	21
2.3 Manejo del software IPI2WIN	23
2.4 Especificación de los equipos	32
2.4.1 Telurómetro	32
2.4.2 Instrumento de estudio de suelos.....	34
2.5 Cuadro comparativo de los métodos de medición	35
2.6 Tipos de técnicas para medir resistividad en el suelo.....	39

2.6.1 Medición con electrodos directamente al terreno.....	40
2.6.2 Medición con electrodos utilizando una placa metálica	43
2.6.3 Medición con electrodos utilizando una Franela Húmeda	46
2.7 Tabla comparativa entre técnicas para medir resistividad del suelo	49
2.8 Análisis e interpretación mediante curvas patrón de las medidas de campo	41
2.8.1 Método Wenner Alpha.....	42
2.8.2 Método Wenner Beta	45
2.8.3 Método Wenner Gamma	48
2.8.4 Método Wenner-Schlumberger	51
2.8.5 Método polo-polo	53
2.9 Tabla comparativa general de métodos de resistividad del terreno.....	55
Capítulo 3	59
Protocolo de medición de resistividad del terreno.....	59
3.2 Metodología de medición	59
3.3 Condiciones de seguridad y equipo de protección personal	61
3.3.1 Condiciones de seguridad.....	61
3.3.2 Equipo de protección individual.....	63
3.4 Selección del Equipo de medición	64
3.5 Preparación y calibración de los instrumentos.....	66
3.6 Preparación del suelo.....	68
3.7 Normativa de medición.....	70
3.8 Procedimiento de medición.....	71
3.8.1 Selección de los puntos de muestreo	71
3.8.2 Colocación de los electrodos en el suelo.....	72
3.8.3 Medición de Resistividad	72
3.8.4 Medición de resistividad sobre suelo pavimentado o concreto	74
3.8.5 Medición de la temperatura y salinidad del suelo	75
3.9 Análisis de los resultados.....	76
Conclusiones.....	77
Recomendaciones	79
Referencias Bibliográficas.....	80
Anexos.....	82

Índice de Tablas

Tabla 1 Métodos Wenner	8
Tabla 2 Valores referenciales de resistividad	13
Tabla 3 Cuadro comparativo de los métodos de medición	36
Tabla 4 Medición Electrodo-Terreno	41
Tabla 5 Medición Electrodo con Placa Metálica	44
Tabla 6 Medición Electrodo con Franela Húmeda	47
Tabla 7 Tabla Comparativa entre Técnicas	40
Tabla 8 Tabla Comparativa entre mediciones de técnicas	41
Tabla 9 Parámetros del terreno a 132°SE	43
Tabla 10 Parámetros del terreno a 132°SE	45
Tabla 11 Parámetros del terreno a 132° SE	49
Tabla 12 Parámetros del terreno a 132°SE	51
Tabla 13 Parámetros del terreno a 132°SE	53
Tabla 14 Tabla Comparativa entre métodos	57

Índice de Figuras

Figura 1	Sistema de puesta a tierra (STP)	1
Figura 2	Método de 2 dipolos	3
Figura 3	Método polo-polo	4
Figura 4	Método polo-dipolo	6
Figura 5	Esquema de conexión Wenner	8
Figura 6	Método de Schlumberger	10
Figura 7	Factores de resistividad	15
Figura 8	Factores de resistividad pH del suelo	15
Figura 9	Metodología de investigación	19
Figura 10	Simulación de la curva	22
Figura 11	Ejecución de programa IPI2WIN	23
Figura 12	Creación de un programa nuevo	23
Figura 13	Selección de método	24
Figura 14	Relación distancia-Resistividad	24
Figura 15	Ingreso de datos del telurómetro	25
Figura 16	Identificación de datos fuera de rango	25
Figura 17	Depreciación de puntos	26
Figura 18	Almacenamiento de archivos de mediciones realizadas.	27
Figura 19	Selección de carpeta de archivo	27
Figura 20	Simulación de Gráfica	28
Figura 21	Estimación del número de capas	29
Figura 22	Asimilación entre curvas resultantes	29
Figura 23	Inversión automático	30
Figura 24	Gráfica resultante	30
Figura 25	Datos requeridos en la medición con el software IPI2WIN	31
Figura 26	Telurómetro	32
Figura 27	Medidor de PH-temperatura-humedad	34
Figura 28	Simuladores de concreto para comparar procedimientos	39
Figura 29	Medición con electrodos directamente al terreno.	40
Figura 30	Valores obtenidos en Microsoft Excel Electrodo-Terreno.	41
Figura 31	Gráfica de los valores simulados en IPI2WIN de Electrodo-Terreno.....	42
Figura 32	Placas de hierro junto a electrodo sobre cemento.	43
Figura 33	Gráfica Valores en Excel Electrodo-Placa Metálica	45
Figura 34	Gráfica de los valores simulados en IPI2WIN de Electrodo-Placa Metálica	45
Figura 35	Electrodos utilizando una franela húmeda.....	46
Figura 36	Gráfica Valores en Excel con Franela Húmeda	48
Figura 37	Gráfica de los valores simulados en IPI2WIN de Franela Húmeda	48
Figura 38	Ubicación de los electrodos Wenner Alpha.....	42
Figura 39	Gráfica de resistividad Wenner Alpha a 132°SE.....	44
Figura 40	Ubicación de los electrodos Wenner Beta.....	45
Figura 41	Gráfica de resistividad Wenner Beta 132°SE.....	47
Figura 42	Ubicación de los electrodos Wenner Gamma.....	48

Figura 43	Gráfica de resistividad Wenner Gamma a 132° SE	50
Figura 44	Ubicación de electrodos Wenner Schlumberger	51
Figura 45	Gráfica de resistividad Schlumberger a 132° SE	52
Figura 46	Ubicación de los electrodos polo-polo	53
Figura 47	Gráfica de resistividad polo-polo dirección 132° SE	54
Figura 48	Gráfica comparativa entre métodos utilizados.....	55
Figura 49	Flujograma de procesos	59
Figura 50	Sitio de estudio.....	61
Figura 51	Condiciones de seguridad.....	63
Figura 52	Equipo de Protección Individual “EPI”	64
Figura 53	Equipo de Medición	66
Figura 54	Calibración de Instrumentos	68
Figura 55	Preparación del suelo.....	70
Figura 56	Puntos de muestreo en zona geográfica.....	71
Figura 57	Colocación de electrodos en suelo	72
Figura 58	Medición de resistividad.....	73
Figura 59	Medida de resistividad sobre concreto	74
Figura 60	Medición de Temperatura y salinidad del suelo.	75

Resumen

La presente investigación se centra en el desarrollo de un protocolo de medición basado en un estudio comparativo de métodos para calcular la resistividad del terreno. El objetivo principal es mejorar la precisión y confiabilidad de las mediciones de resistividad, proporcionando a los investigadores y profesionales un enfoque sistemático y estandarizado. El estudio se llevó a cabo mediante la recolección de datos de resistividad utilizando diferentes métodos existentes, como el método de Wenner y sus variantes con diferentes procesos de medición, el método de Schlumberger y el método de dos polos. Se realizaron mediciones en un sitio específico, abarcando diferentes condiciones geológicas y métodos. Se recopilaron datos detallados de resistividad utilizando cada método, y se compararon los resultados obtenidos. Los análisis comparativos revelaron diferencias significativas en los valores de resistividad calculados por cada método. Se identificaron los factores que influyen en estas diferencias, como las relaciones que existen al medir y utilizar dos variables siendo la resistividad (ρ) y la distancia entre electrodos. Con base en los resultados del estudio comparativo, se propone un protocolo de medición que integra las mejores prácticas de los diferentes métodos evaluados. Este protocolo incluye directrices claras sobre la configuración de los electrodos, la disposición espacial de los puntos de medición, la frecuencia de muestreo y la corrección de posibles interferencias. Se espera que este protocolo de medición propuesto mejore la precisión y la confiabilidad de las mediciones de resistividad del terreno. Además, se promoverá su adopción en futuras investigaciones para calcular la resistividad del terreno.

Palabras claves: Resistividad; Mediciones; Wenner; Schlumberger; Dos polos.

Abstract

The present research focuses on the development of a measurement protocol based on a comparative study of methods to calculate soil resistivity. The main objective is to improve the accuracy and reliability of resistivity measurements by providing researchers and practitioners with a systematic and standardized approach. The study was carried out by collecting resistivity data using different existing methods, such as the Wenner method and its variants with different measurement processes, the Schlumberger method, and the two-pole method. Measurements were performed at a specific site, covering different geological conditions and methods. Detailed resistivity data were collected using each method, and the results obtained were compared. Comparative analyses revealed significant differences in the resistivity values calculated by each method. Factors influencing these differences were identified, such as the relationships that exist when measuring and using two variables being resistivity (ρ) and the distance between electrodes. Based on the results of the comparative study, a measurement protocol is proposed that integrates the best practices of the different methods evaluated. This protocol includes clear guidelines on electrode configuration, spatial arrangement of measurement points, sampling frequency and correction of possible interferences. This proposed measurement protocol is expected to improve the accuracy and reliability of ground resistivity measurements. In addition, its adoption will be promoted in future research to estimate soil resistivity.

Key Words: Resistive; Measurement; Wenner; Schlumberger; Two poles.

Contextualización

La tierra ha sido siempre un elemento eléctrico, a través del cual se conducen las corrientes eléctricas generadas por descarga atmosféricas. En instalaciones construidas por el ser humano, la puesta a tierra ha sido muy importante en la electricidad, por lo que ha llevado un sin número de estudios que buscan generar conocimientos científicos y tecnológicos sobre la puesta a tierra para un fin o aplicación. (Alberto & Oliva, n.d.)

Un sistema de puesta a tierra es una parte vital en una instalación eléctrica, por lo cual se le debe dar un tratamiento que concuerde con su relevancia. Es válido comparar al sistema de puesta a tierra como los cimientos o bases en la estructura de un edificio. (Casas-Ospina, 2010)

Morales (1999) sostiene que aun cuando la puesta a tierra es un componente intrínseco del sistema eléctrico, permanece en general como un tema mal comprendido y sin la adecuada atención que este tipo de instalación amerita. En consecuencia, dada la importancia que posee en la seguridad de personas y equipos, es obligatorio prestar especial cuidado a todos los detalles y variables que intervienen en la instalación y que podrían alterar su correcto funcionamiento.

Habiendo aclarado el significado de tierra que según (Casas-Ospina, 2010) explica como un conjunto de elementos conductores de un sistema eléctrico específico, sin dispositivos de interrupción, que conectan los equipos eléctricos con el terreno o una masa metálica. Es importante tener en cuenta que el sistema de puesta a tierra comprende tanto la puesta a tierra como la red equipotencial.

Las corrientes espurias también llamadas errantes, parasitas o de fuga. Son corrientes permanentes en el terreno que se pueden presentar por diversas causas como por ejemplo transformadores desbalanceados, cercas eléctricas, cables rotos, aislamientos inadecuados, acción galvánica, protecciones galvánicas, circuitos de batería entre otros. Sus efectos pueden ser tan nocivos para los equipos como mortales para quien no sepa de las técnicas correctas de medición de una puesta tierra. (Casas-Ospina, 2010)

Los estudios de la resistividad del terreno no están ligados exclusivamente al campo eléctrico y a los sistemas de puesta a tierra dentro de estas relaciones con el contenido mineralógico, sino que también posee íntimas del suelo, presencia o no de masas freáticas o subterráneas de agua, de las rocas, tipología del suelo, sales disueltas, características y edades cronológicas entre otras muchas menciones a estudios vinculados. Por este motivo, la resistividad aporta una gran información a los científicos de diversas ramas y su cuantificación es esencial.(Oliva, 2010)

La determinación de resistividad del terreno a partir de los valores de resistencia medidos entre caras opuestas de una muestra de suelo de dimensiones conocidas no se recomienda, ya que las resistencias interfaciales desconocidas de la muestra de suelo y los electrodos están incluidas en el valor medido. Una determinación es más precisa si se realiza una medición de resistencia de cuatro terminales de la muestra de suelo. Los terminales de potencial, encargados de medir el voltaje, deben ser pequeños, en relación con la sección transversal de la muestra, y deben estar lo suficientemente distantes de los terminales de corriente para asegurar una distribución de corriente casi uniforme en la muestra. Una distancia igual al ancho de la mayor sección transversal suele ser adecuada para el propósito de la determinación. Es difícil, y en algunos casos imposibles, obtener una aproximación útil de la resistividad del suelo a partir de la resistividad medida en muestras. }

Esto se debe a la dificultad de obtener muestras de suelo representativo y homogéneo, y que posean el mismo nivel de compactación del suelo original, junto con el contenido de humedad en la celda de prueba. (*IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System Sponsor Power System Instrumentation and Measurements Committee of the IEEE Power Engineering Society IEEE Standards Board American National Standards Institute, 1981*)

Cuando la corriente se disipa dentro del terreno se crean superficies equipotenciales cada una de ellas con un cierto voltaje. Con el terreno energizado, ya sea por una fuga eléctrica por el impacto de un rayo, una persona inmóvil se encuentra dentro de una misma superficie equipotencial dado que sus dos pies se encuentran en el mismo punto y por lo tanto a la misma tensión. Basta que la persona dé un paso, para hacer circular por ella una corriente, producida por la diferencia de tensión sobre la que se encuentra un pie y otro. Cada uno de ellos se encontraría en distintas superficies equipotenciales y por lo tanto en distintas tensiones. A esta diferencia de tensiones se le denomina tensión de paso. (Guía et al., 2007)

Planteamiento Del Problema

Partiendo de la seguridad de las personas y el correcto funcionamiento de los distintos dispositivos eléctricos y electrónicos es fundamental que la puesta a tierra esté bien colocada, por lo cual, es indispensable realizar un estudio de la resistividad del terreno con el motivo de proteger de las descargas eléctricas las instalaciones y circuitos, además de la optimización de la señal eléctrica.

Los sistemas de fuerza son importantes, ya que toda edificación o residencia hace uso de la energía eléctrica. Sin embargo, conforme transcurre el tiempo, se realiza modificaciones a la infraestructura lo cual presenta una necesidad de que la puesta a tierra este acorde a las características de los equipos, salvaguardando además la integridad de los usuarios, es por eso por lo que se debe verificar la robustez de un sistema eléctrico para una mejor confiabilidad, seguridad y larga vida de los aparatos eléctricos.

Los métodos de la resistividad del terreno son útiles para conocer la resistividad equivalente del suelo, lo cual resulta de gran importancia para realizar el diseño correcto de un sistema de puesta a tierra en instalaciones nuevas, en este trabajo se verificará la sensibilidad del método Wenner.

En determinados casos es imprescindible seguir un protocolo para poder determinar los pasos y normas que se deben llevar a cabo en el momento de una puesta a tierra, para así, ante situaciones donde se necesita de esta instalación, se defina la manera en la cual tienen que actuar las personas para realizar una correcta medición e interpretación de los datos obtenidos.

Justificación

El sistema de puesta a tierra toma un papel importante en la seguridad de una instalación durante el drenado de corrientes de falla. Este sistema brinda un ambiente seguro para los usuarios, estructuras y equipos reduciendo el riesgo que pueden ocasionar las fallas en una instalación eléctrica. (Márquez, 1991)

La Facultad de Electricidad no cuenta con una puesta a tierra para proteger la infraestructura del sistema eléctrico, el personal y los equipos, por lo que es importante que el sistema eléctrico sea eficiente, seguro y fiable al momento de brindar energía eléctrica proporcionando un óptimo funcionamiento de los aparatos eléctricos y electrónicos.

El deterioro de los aparatos electrónicos en la mayoría de los casos es ocasionado por la mala instalación del circuito eléctrico, ya que no rigen de la normativa eléctrica, lo cual trae consecuencias como cortes de servicio eléctrico, daño de los aparatos eléctricos, peligro al ser humano al no tener un circuito que desplace las corrientes de fuga.

Las puestas a tierra y medición de la resistividad del terreno forman parte fundamental de un sistema eléctrico, estas son las que se encargan de proteger al ser humano y equipos instalados en el circuito, el ser humano es un conductor de la electricidad y al no tener un circuito de fuga o protección de las corrientes puede ocasionar graves lesiones hasta la muerte. (Lozano, 2014)

La propuesta de un protocolo de medición en el sistema eléctrico debe regirse a la normativa ecuatoriana de construcción (NEC) donde se establece los requisitos mínimos y todas las especificaciones técnicas para una correcta instalación, de la misma forma toda la instalación debe

acatarse a la ley de eficiencia energética que obliga a que este tipo de estudios se realicen nuevamente, definiendo la política que establecerá los límites progresivos de niveles de consumo y emisiones de energía.

Aplicando los métodos a estudiar se puede determinar la estructura del terreno (profundidad de la capa superior, resistividad, factor de reflexión) cabe mencionar que, la resistividad junto a la estructura del sistema también determina la distribución de potencial en el suelo alrededor del electrodo.

Por la importancia de tener un modelo que represente lo mejor posible las propiedades y estructura del terreno donde se instalará el sistema de puesta a tierra, en este trabajo se analiza la exactitud de un método para determinar el modelo de resistividad aparente.

Alcance

Para el desarrollo del presente estudio se llevará a cabo una revisión bibliográfica como artículos científicos, libros, revistas científicas y otros documentos que contengan información verificada que ayude a la realización del proyecto de investigación sobre métodos de resistividad del terreno haciendo énfasis en un protocolo para la misma información que ayude a describir y calcular los parámetros de medición.

El presente trabajo de titulación se delimita a efectuar simulaciones en un software libre, a base de datos de la resistividad del terreno considerando el tipo de terreno que se encuentra en la Universidad Técnica del Norte, donde se establecerá un protocolo desde el análisis comparativo de los métodos para la instalación de una puesta a tierra.

La propuesta de protocolo de medición de la instalación eléctrica se regirá a la Normativa Ecuatoriana de Construcción (NEC) y National Fire Protection Association (NFPA 70) que es un estándar a nivel internacional para la seguridad en instalaciones eléctricas. Con las aplicaciones de estas normativas se establecerá los lineamientos sobre los materiales eléctricos, el uso adecuado de cada uno de ellos, mayor seguridad dentro de la instalación, prevención de accidentes, disminución de riesgos y sobre todo salvaguardar la vida de las personas.

En la siguiente etapa con base al análisis de los métodos de medición, se realizará un estudio de todos los métodos para verificar la sensibilidad de cada uno, cual es el que más se acerca los requerimientos que se tenga las características del suelo y necesidades de los equipos para la puesta a tierra.

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto se hará uso del software libre “IPI2Win”, ya que es indispensable para el proceso comparativo de las curvas que resulta tedioso para la gran cantidad de curvas existentes.

La propuesta de protocolo de medición generará que una persona especializada en el tema tenga todos los pasos a seguir para una puesta a tierra en la Universidad Técnica del Norte y de esa manera garantizando la confiabilidad del sistema eléctrico, la seguridad de los componentes eléctricos, logrando además conseguir que se valore la importancia de la puesta a tierra en todos los circuitos eléctricos de la universidad.

Se analizarán los resultados que proporciona el telurómetro aplicando la normativa IEEE 81 que servirá como guía para la realización del estudio de la resistividad.

Objetivo General

Proponer un protocolo de medición de la resistividad del terreno para la instalación de puestas a tierra en la Carrera de Electricidad de la Universidad Técnica del Norte mediante la aplicación de normas eléctricas para mejorar la calidad del servicio eléctrico.

Objetivos Específicos

Describir los métodos para obtener la resistividad del terreno y la Normativa Ecuatoriana de construcción para puestas a tierra en el servicio eléctrico.

Realizar un análisis comparativo de los métodos de medición de resistividad del terreno con base en simulaciones.

Elaborar la propuesta de protocolo de medición de la resistividad del suelo en la Universidad Técnica del Norte.

Capítulo 1

Marco Teórico

Mediante una investigación bibliográfica especializada, en este apartado se presenta una breve descripción del sistema de puesta a tierra, así como de los principales métodos, parámetros, factores y especificaciones para medir la resistividad del terreno y normativas relacionadas con la puesta a tierra.

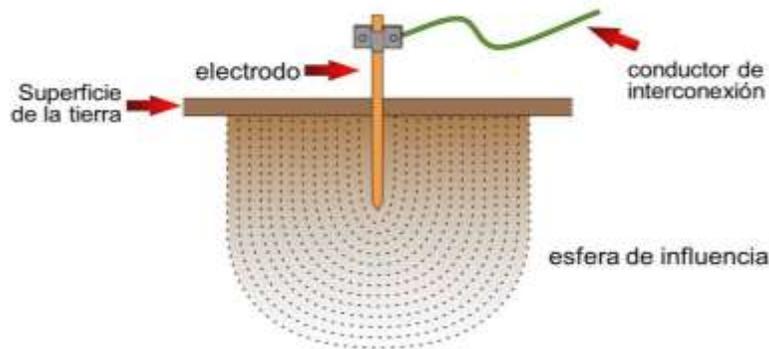
1.1 Definición de un Sistema de Puesta a tierra (SPT)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción establece que el sistema de puesta a tierra consiste en un grupo de componentes diseñados para proteger los equipos eléctricos de diferencias de potencial y a las personas de corrientes eléctricas que superen el límite de seguridad tolerable. En la Figura 1

Sistema de puesta a tierra (STP) se puede ver un sistema de puesta a tierra. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018).

Figura 1

Sistema de puesta a tierra (STP)



Nota. En la Figura 1 Sistema de puesta a tierra (STP) se encuentra la forma de conexión de un sistema de puesta a tierra. Tomado de Conexión a tierra: ¿Qué es y cómo funciona?, por Suministro de Materiales Eléctricos, 2020.

Un sistema de puesta a tierra tiene como objetivo principal proporcionar una conexión segura y de baja resistencia. En la Figura 1 Sistema de puesta a tierra (STP) se puede observar la esfera de influencia en donde se disipa la corriente eléctrica que llega a través del electrodo conectado al conductor de interconexión con el sistema eléctrico.

1.2 Métodos de medición de resistividad del suelo

La medición de la resistividad del terreno permite encontrar la profundidad y grosor de las rocas y de esta forma ubicar los puntos óptimos de puesta a tierra. Para realizar esta medida de la resistividad del suelo se hace uso del estándar IEEE Std 81-1983.(Lavalle, 2021). Los métodos de medición de resistividad del suelo son dipolo-dipolo, dos puntos, polo-dipolo, cuatro puntos (Wenner y Schlumberger).

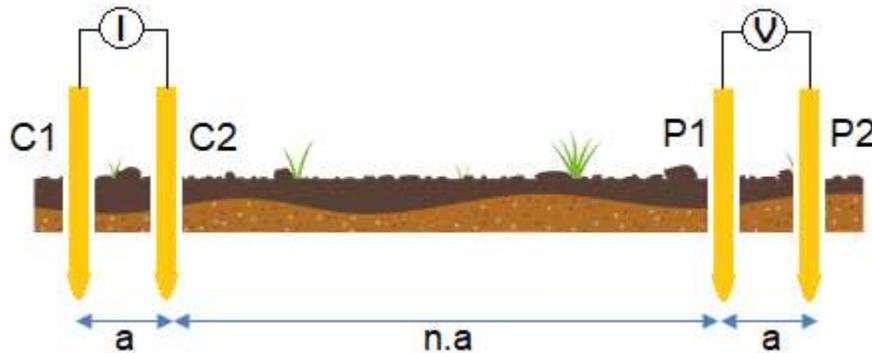
1.2.1 Método dipolo-dipolo

El método de dipolo-dipolo se emplea en la estimación de la resistividad eléctrica del subsuelo, permitiendo obtener datos acerca de cómo se distribuye la resistividad en esa zona. En este método, se disponen cuatro electrodos en una configuración lineal, donde se inyecta una corriente a través de un par de electrodos separados por una distancia "a", y se mide la diferencia de potencial en el otro par de electrodos, también separados por la misma distancia.

Este método de medición puede detectar cambios bruscos en la resistividad en el subsuelo. Sin embargo, presenta algunas limitaciones, como líneas más cortas para llegar a una determinada profundidad y una mayor susceptibilidad a las irregularidades de la resistividad superficial. (Porres, 2003).

En la Figura 2 Método de 2 dipolos se puede visualizar el método de 2 dipolos.

Figura 2
Método de 2 dipolos



Nota. En la Figura 2 Método de 2 dipolos se utilizó la configuración de electrodos C1, C2, P1, P2 formando así un

doble dipolo, aquí se muestra la configuración que se plantea para llevar a cabo las mediciones. Tomado de (Porres, 2003)

Para calcular la resistividad con este método dipolo-dipolo es imprescindible realizar el cálculo mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = n \times (n + 1) \times (n + 2) \times \pi \times a(\Delta V/I)$$

Donde:

ρ es la resistividad del suelo.

a es la separación entre los electrodos.

$(n+1)$ es la distancia entre los dos pares de electrodos

$(n+2)$ es la distancia entre los dos pares de electrodos

$(\Delta V/I)$ es la variación voltaje sobre intensidad

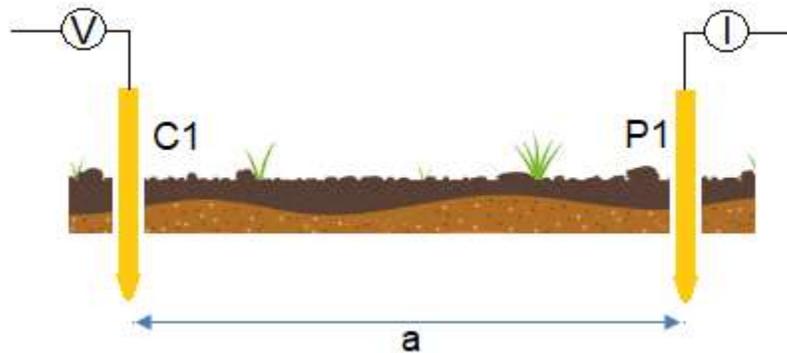
1.2.2 Método de los dos puntos (polo-polo)

El método de polo-polo permite medir la resistividad eléctrica del subsuelo. Para efectuar la medición se utiliza un único electrodo de corriente y un electrodo de potencial. Se inyecta una corriente a través del electrodo transmisor y se mide la diferencia de potencial en el electrodo receptor. La distancia entre los dos electrodos es muy grande.

Una desventaja de este método de medición se relaciona con la separación entre los electrodos, ya que esta distancia puede dar lugar a la aparición de un nivel considerable de interferencias telúricas, lo cual podría tener un impacto significativo en la precisión de las mediciones. (López, Loke, & Fanton, s. f.)

Figura 3

Método polo-polo



Nota. En la Figura 3 Método polo-polo se observa la disposición del método polo-polo donde se refleja C1 siendo la corriente inyectada y P1 el potencial a una distancia a para medir la resistividad del terreno. Tomado de (López, Loke, & Fanton, s. f.)

El cálculo de la resistividad con el método dipolo-dipolo es imprescindible realizar el cálculo mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = 2\pi \times a (\Delta V/I)$$

Donde:

ρ es la resistividad del suelo.

a es la separación entre los electrodos.

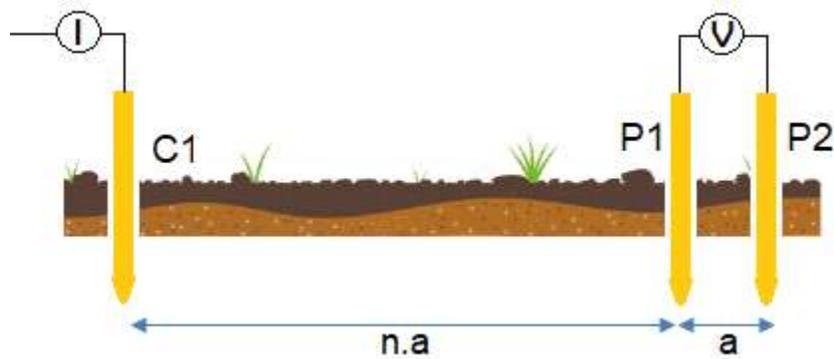
$(\Delta V/I)$ es la variación voltaje sobre intensidad.

1.2.3 Método polo-dipolo

En este método de polo-dipolo, se utilizan tres electrodos, uno de los electrodos se llama "electrodo de corriente", y los otros dos se llaman "electrodos de potencial". El electrodo de corriente se utiliza para inyectar una corriente eléctrica en el subsuelo, se mide la diferencia de potencial eléctrico entre los electrodos de potencial cuando se aplica la corriente eléctrica desde el electrodo de corriente; la separación entre el electrodo de corriente y los electrodos de potencial es grande. Los datos de las mediciones se utilizan para calcular la resistividad eléctrica aparente del subsuelo en diferentes profundidades se muestra en la ecuación. (López, Loke, & Fanton, s. f.).

Figura 4

Método polo-dipolo



Nota. En la Figura 4 Método polo-dipolo se observa la disposición del método polo-dipolo donde C1 es la corriente inyectada a una distancia n.a donde “n” es lo que se aumenta con relación a la distancia “a”, P1 y P2 es el potencial. Tomado de (López, Loke, & Fanton, s. f.)

El cálculo de la resistividad con el método dipolo-dipolo es imprescindible realizar el cálculo mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = 2\pi \times a \times n \times (n + 1) (\Delta V/I)$$

Donde:

ρ es la resistividad del suelo.

a es la separación entre los electrodos.

$(n+1)$ es la distancia entre los dos pares de electrodos

$(\Delta V/I)$ es la variación voltaje sobre intensidad.

1.2.4 Método de los cuatro puntos

De acuerdo con Lavalle (2021), es considerado el método más preciso para medir la resistividad del suelo, este consiste en enterrar electrodos pequeños en cuatro agujeros en el suelo, todos a la misma profundidad "b" y espaciados a una distancia "a" en una línea recta, para medir el valor se aplica una corriente de prueba entre los dos electrodos externos y se mide el potencial entre los dos electrodos internos utilizando un potenciómetro o un voltímetro de alta impedancia. Mediante la ley de Ohm se calcula la resistividad del suelo considerando las dimensiones y espaciado de los electrodos. Para que los resultados sean más precisos hay que evitar la influencia de los bordes y las superficies laterales del suelo.

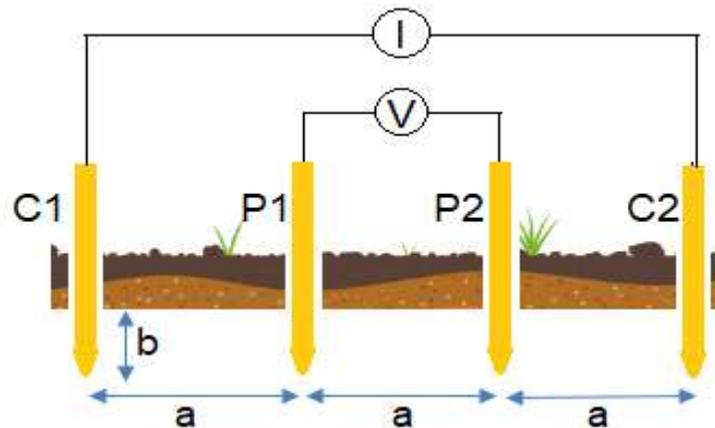
Con el método de 4 polos se puede efectuar dos tipos de configuraciones de los electrodos posibles.

a) El método de Wenner consiste en colocar cuatro electrodos en línea recta y a la misma

profundidad, para efectuar las mediciones de resistividad se inyecta una corriente directa o de baja frecuencia a través de dos electrodos (C1, C2), mientras que la diferencia de potencial se mide entre los otros dos electrodos (P1 y P2), las mediciones obtenidas con este método dependen de la distancia entre los electrodos y de la resistividad del suelo, mas no de la forma o tamaño de los electrodos utilizados. La relación entre el potencial y la corriente, conocida como resistencia aparente, se utiliza para determinar la resistividad aparente del terreno. Esta resistividad aparente es una función de la resistencia y la geometría de los electrodos utilizados. En la figura 5 se puede ver una ilustración. (Ruelas, s. f.)

Figura 5

Esquema de conexión Wenner



Nota. En la Figura 5 Esquema de conexión Wenner se observa la conexión del método Wenner donde se ocupa cuatro electrodos, respectivamente C1, P1, P2 Y C2 colocados a una misma distancia “a” y a la misma profundidad “b”. Tomado de (López, Loke, & Fanton, s. f.)

El método de Wenner presenta algunas variaciones que permiten la medición de la resistividad del suelo entre los que se puede mencionar Wenner Alpha, Beta y Gamma. En la Tabla 1 Métodos Wenner se muestra las características de cada uno de estos métodos.

Los tres métodos miden la resistividad promedio del terreno a una profundidad, la diferencia radica en la configuración de los electrodos y la distancia entre ellos.

Tabla 1

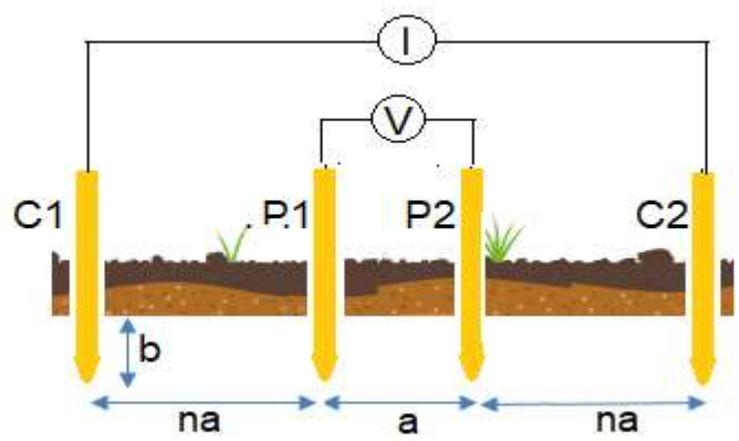
Métodos Wenner

Método	Disposición de los Electrodo s	Fórmula	Características
Wenner Alpha	C1 - P1 - P2 - C2	$\rho = K \times a \times R$	Utiliza 4 electrodos equidistantes Los electrodos se colocan en línea recta, misma profundidad y la resolución vertical de la medición.
Wenner Beta	C2 - C1 - P1 - P2	$\rho = 6\pi \times a \times R$	Utiliza 4 electrodos equidistantes Todos los electrodos están en línea, la distancia entre los electrodos de corriente y potencial es 2 a.

			Utiliza 4 electrodos equidistantes
			La profundidad es mayor que las dos anteriores debido a la distancia de los electrodos y potencial.
Wenner Gamma	C1- P1- C2- P2	$\rho = 3\pi \times a \times R$	

Nota. Método de Schlumberger, es adecuado para suelos de cualquier resistividad y para la medición la separación entre los electrodos P1 y P2 centrales se mantiene constante, mientras que se varía la distancia de los electrodos exteriores C1 y C2 con respecto a los electrodos interiores. Al realizar mediciones a diferentes profundidades, se obtienen datos adicionales que permiten una mejor caracterización de la resistividad del terreno. Esta variación en la disposición de los electrodos ayuda a obtener una imagen más detallada de las propiedades eléctricas del subsuelo, este método se ilustra en la figura 6. (Ruelas, s. f.)

Figura 6
Método de Schlumberger



Nota. En la Figura 6

Método de Schlumberger se observa la conexión del método Schlumberger donde se ocupa 4 electrodos, siendo P1 y P2 colocados a una misma distancia “a”, C1 y C2 a una distancia n.a del potencial y a la misma profundidad “b”. Tomado de (López, Loke, & Fanton, s. f.)

Este método es empleado para conocer las resistividades de capas más profundas, es de gran utilidad ya que se realizan muchas mediciones como el método Wenner.

La resistividad de los suelos exhibe una variabilidad significativa, y un suelo dado puede experimentar fluctuaciones en su resistividad a lo largo del tiempo, principalmente debido a factores como la temperatura y la humedad, siendo esta última la influencia más prominente. En consecuencia, estimar la composición subterránea únicamente a partir de mediciones de resistividad se vuelve una tarea desafiante. La medición de la resistividad aparente suele llevarse a cabo mediante la disposición de cuatro electrodos: dos para la inyección de corriente y otros dos para la medición de la diferencia de potencial (Pacheco & Jiménez, 2013).

Además, la resistividad se relaciona con el factor geométrico k , para determinar la eficiencia de dispersión de corriente en el suelo o la distribución de voltaje en un sistema de puesta a tierra, el cual depende de la forma, la disposición del conductor y la ubicación de los dipolos o electrodos, a medida que los dipolos se alejan o se acercan entre sí, el valor de "k" cambia, lo que a su vez afecta la eficiencia del sistema de puesta a tierra.

La relación específica entre el factor geométrico "k" y las medidas de los dipolos o electrodos de puesta a tierra depende de la geometría del sistema y puede requerir cálculos y análisis detallados. Por lo general, para sistemas de puesta a tierra más complejos, se

utilizan métodos de análisis de elementos finitos o software de simulación para determinar el valor de "k" y evaluar la eficiencia del sistema de puesta a tierra en condiciones específicas. (Basante, 2019)

1.3 Parámetro de resistividad del terreno

El parámetro de la resistividad del suelo es crucial en el diseño de sistemas de puesta a tierra. La resistividad del suelo se define como la medida de la oposición que presenta el suelo al paso de corriente eléctrica. Se expresa en ohmios por metro ($\Omega\cdot m$) y es una propiedad inherente al suelo.

La resistividad del suelo depende de diversos factores, como la composición del suelo, la humedad, la temperatura y la presencia de contaminantes. Los suelos húmedos tienden a tener una menor resistividad que los suelos secos, ya que la humedad facilita el flujo de corriente. Por otro lado, los suelos con alto contenido de arcilla suelen tener una resistividad más alta que los suelos arenosos. (Z. G. Datsios, 2017)

La resistencia y la resistividad están relacionadas matemáticamente, pero tienen conceptos y factores de influencia diferentes. La resistencia depende de las propiedades geométricas del conductor (longitud, sección), mientras que la resistividad está más relacionada con las propiedades del material y puede verse afectada por factores externos como la temperatura y la humedad. (Lavallo, 2021).

El suelo es una mezcla de materiales como rocas, agua, gases y otros elementos inorgánicos. La resistividad del suelo varía debido a su composición interna y está influenciada por factores

externos como sales, temperatura y humedad. Estas variables con el transcurso de tiempo causan cambios en la resistividad. (QQueshuayllo & Wilbert, 2005)

Las aguas que fluyen bajo los suelos afectan también la resistividad por la presencia de sales disueltas, por tal motivo se considera matemáticamente al planeta Tierra un conductor eléctrico que puede transmitir y recibir carga indefinidamente. (Ruelas, s. f.)

1.4 Factores que afectan la resistividad

En el cálculo de la resistividad del terreno se debe tomar en cuenta diversos factores que afectan la conductividad eléctrica del suelo. Algunos de estos factores son: tipo de suelo, humedad, temperatura, etc. Estos se detallan a continuación.

1.4.1 El tipo de suelo

Es importante conocer la ubicación donde se va a efectuar la conexión, para determinar el grado de homogeneidad presente en el suelo, y así también diseñar la toma de tierra permitiendo reducir los costos de construcción. En la se observan algunos valores de resistividad

Tabla 2

Valores referenciales de resistividad

TIPO DE SUELO	ρ (Ohm-m)
Limos, Arcillas, Suelo Vegetal y de cultivo	10 - 100
Tierra Fina, Turbas, Fangos, Suelos Finos y Concretos Húmedos	100 - 300

Tierra Aluvial, Arenas firmes, Suelos secos y Cimientos de concreto	300 - 800
Arena Eólica, Lecho de Río, Cascajo, Areniscas secas	800 - 3000
Rocas Estratificadas, Fracturadas, Volcánicas	3000 - 10000
Suelos de Feldespatos, micas, cuarzos, Roca Monolítica	5000 - 30000
Concreto Ciclópeo Estructural Aéreo (Seco)	10000 a más

Nota. En la Tabla 2

Valores referenciales de resistividad se puede observar la resistividad en ohmios de los tipos de suelo más generales. Tomado de *Mediciones de resistividad del terreno* por Yanque, Mirko, s.f.

1.4.2 La humedad

Es un factor importante en la resistividad, los suelos húmedos contienen agua, que actúa como un conductor eléctrico y disminuye la resistividad. Por otro lado, los suelos secos tienen una menor conductividad eléctrica y, por lo tanto, una resistividad más alta. (Mirko, 2006)

1.4.3 La temperatura

Es un parámetro que también afecta el valor de la resistividad del suelo ya que a medida que aumenta la temperatura, la resistividad disminuye debido al aumento de la movilidad de las partículas y la reducción de las fuerzas de retención. (Briceño, 2015)

1.4.4 Las sales y minerales

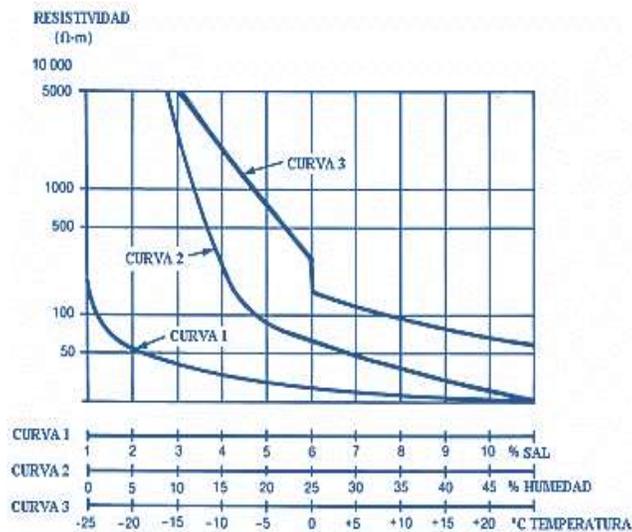
Los suelos con presencia de alto contenido de sales o minerales afectan significativamente la resistividad ya que permiten el flujo de corriente eléctrica.

1.4.5 pH del suelo

El pH del suelo, que mide su acidez o alcalinidad, puede influir en la medición de la resistividad ya que los suelos ácidos tienden a tener una mayor resistividad que los suelos alcalinos, esto se debe a que los iones de hidrógeno (H^+) en suelos ácidos pueden reducir la conductividad eléctrica. En la figura 7 se ilustra los valores de resistividad.

Figura 7

Factores de resistividad



Nota.

La

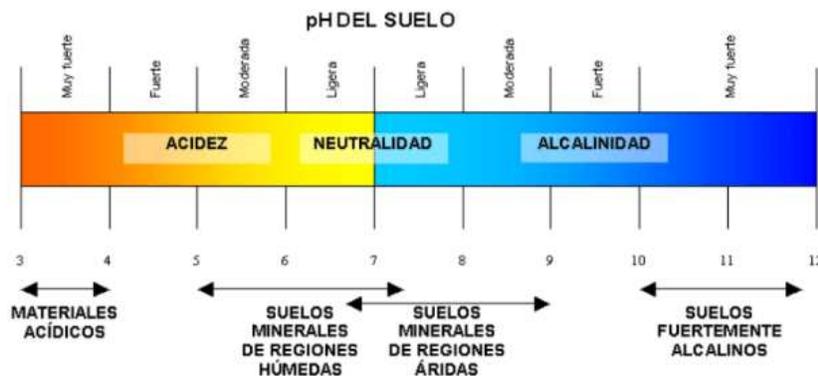
Figura

7

Factores de resistividad en la curva 1 mientras el suelo tiene un porcentaje alto de salinidad la resistividad del suelo disminuye. La curva 2 plantea que los suelos húmedos contienen agua

actuando como conductor. La curva 3 menciona que mientras aumenta la temperatura la resistividad disminuye por el movimiento de partículas. Tomado de *Normas Técnicas Medidas de resistividad eléctrica* por IEEE, 2000.

Figura 8
Factores de resistividad pH del suelo



Nota. En la **Figura 8** Factores de resistividad pH del suelo muestra una escala de 3 al 12 para tener como referencia después de medir y de esa manera saber el pH del suelo, en este caso los suelos alcalinos tienen menor resistividad. Tomado de *Normas Técnicas Medidas de resistividad eléctrica* por IEEE, 2000.

1.5 Especificaciones para corregir la resistividad

Se debe analizar algunas especificaciones que puedan ayudar a corregir la resistividad de suelo, se puede mencionar las siguientes:

1.5.1 Incremento de la cantidad de electrodos en paralelo

Esta disposición de los electrodos ayuda a reducir la resistencia del sistema de puesta a tierra. No obstante, es importante que se ubiquen los electrodos a una distancia adecuada para evitar la interferencia entre éstos y que alteren la impedancia del circuito.

1.5.2 Incremento del diámetro del electrodo

Conforme se aumenta el diámetro, el valor de la resistencia disminuye hasta mantenerse constante, lo cual mejora la conductancia del electrodo en el sistema de puesta a tierra.

1.5.3 Incremento de la longitud de penetración del electrodo

Al aumentar la profundidad a la que se introduce el electrodo se consigue alcanzar capas del suelo más profundas que afectan directamente al valor de la resistividad. Por lo tanto, la longitud de penetración debe analizar las características del suelo.

1.5.4 Tratamiento del terreno

Aplicar un tratamiento químico es una opción para reducir la resistividad del terreno sin la necesidad de utilizar múltiples electrodos. Se pueden emplear diferentes métodos, como la incorporación de sales puras con carbón vegetal, el uso de bentonitas molidas o el empleo de un compuesto químico como un GEL. (QQueshuayllo & Wilbert, 2005).

1.6 Normativas nacionales e internacionales de sistemas de puesta a tierra

Si bien la adaptación de normativas nacionales se adapta a las normativas internacionales como es IEEE esto implica un proceso de ajuste para alinearse con las regulaciones y requisitos específicos de Ecuador lo que facilita la integración y colaboración a nivel global contribuyendo al avance tecnológico y científico en los sistemas de puesta a tierra.

1.6.1 Normativas Nacionales:

Las normativas para un sistema de puesta a tierra en Ecuador se encuentran en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), elaborada por el MIDUVI en el Decreto Ejecutivo No. 705 del 24 de marzo de 2011, y es de acatamiento obligatorio a nivel nacional en todos los procesos de construcción. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018).

Estás normativas se detallan a continuación:

- a.** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2426:2015 "Instalaciones eléctricas de baja tensión - Requisitos generales de protección para la seguridad".
- b.** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1060:2015 "Puesta a tierra de los sistemas de suministro y uso de la energía eléctrica".
- c.** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-IEC 60364-4-41:2017 "Instalaciones eléctricas de baja tensión - Parte 4-41: Protección para la seguridad - Puesta a tierra y equipotencialización".
- d.** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2341:2014 "Sistemas de puesta a tierra para la protección contra descargas atmosféricas en estructuras y sistemas eléctricos y electrónicos".

1.6.2 Las normativas internacionales IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), que se aplican a los sistemas de puesta a tierra

- a.** Sistemas de puesta a tierra - ANSI / IEEE Std. 81: 1983, Guía para la medición de Resistencias de Tierra, Impedancias de Tierra y Potenciales de Superficie de Tierra en Sistemas de Aterramiento.
- b.** Instalaciones domiciliarias, comerciales e industriales - ANSI C114.1-1973 / IEEE Standard 142-1972. - IEEE Práctica Recomendada para Aterramientos de Sistemas de Potencia Industriales y Comerciales.
- c.** Subestaciones eléctricas de media y alta tensión - ANSI / IEEE Standard 80-1986 - IEEE Guía para Seguridad en Aterramientos de subestaciones AC.

Capítulo 2

Análisis comparativo de los Métodos de Medición de Resistividad del Terreno

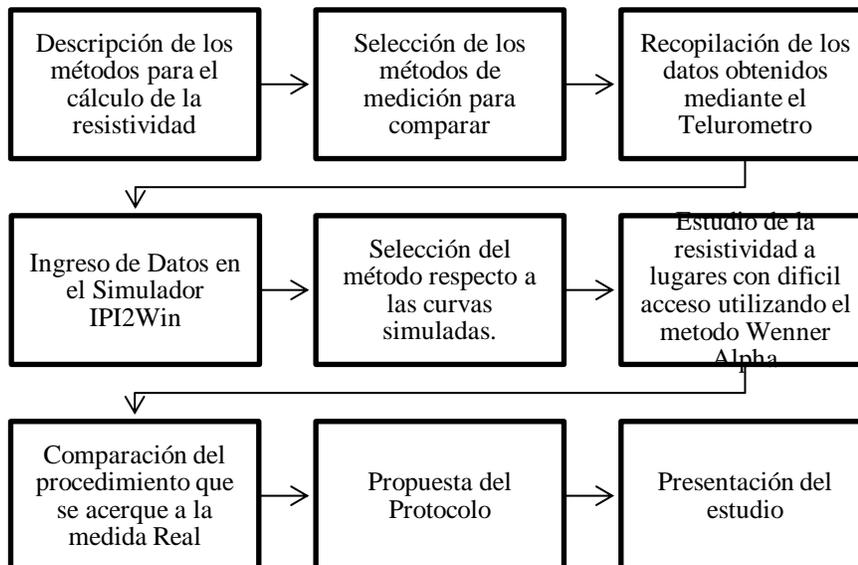
Se realizó un análisis comparativo de los métodos de medición de resistividad considerando las ventajas y limitaciones de cada método. Además, como también el equipo y programas a emplearse para efectuar las simulaciones, presentando los resultados obtenidos en cada caso con el fin de proporcionar una visión general de las necesidades y características al momento de efectuar la medición.

2.1 Metodología

El estudio de Resistividad del terreno fue desarrollado de manera secuencial según el proceso que se muestra en la Figura 9 Metodología de investigación.

Figura 9

Metodología de investigación



Metodología de investigación se detalla la metodología empleada para realizar el estudio comparativo de los métodos para calcular la resistividad del suelo en donde se detalla la importancia de la medición precisa de la resistividad del terreno para puestas a tierra que comenzó con una descripción de cada uno de los métodos que son más comunes en el tema de resistividad , previo análisis de la posibilidad de estudio se seleccionó cinco de ellos, estas variables a medir incluyen los métodos de Schlumberger, Wenner Alpha, Beta, Gamma y el método de dos puntos (polo-polo).

Se realizó la selección del sitio de prueba donde se llevó a cabo las mediciones, considerando las condiciones ambientales y geológicas convenientes al estudio ya que esto influye en las mediciones a efectuarse como son: la humedad del suelo, la temperatura, el pH del suelo. Seguidamente, se realizó las mediciones de la resistividad del terreno respecto a los métodos seleccionados y se registró los datos de manera precisa y completa.

Se procesó los datos recopilados utilizando el software IPI2win, se seleccionó el método respecto a las curvas simuladas. Posteriormente con el método seleccionado se realizó un estudio de la resistividad que tengan difícil acceso para realizar las mediciones utilizando el método Wenner Alpha. Para finalizar con el estudio se comparó cual procedimiento se acerca a la medida real y así, se escogió cual es el método a elegir según las condiciones del lugar que se quiera estudiar.

Finalmente, basándose en los resultados del análisis, se propuso un procedimiento detallado para la medición de la resistividad, considerando los resultados de la presente investigación.

2.2 IPI2WIN

El software está diseñado para la interpretación automática o semiautomática de datos de sondeo eléctrico vertical obtenidos con varios arreglos de prospección eléctrica. Está diseñado para la interpretación 1D de las curvas de sondeo eléctrico, suponiendo que el diario es un intérprete con experiencia siendo una técnica geofísica utilizada para investigar la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo.

El software IPI2Win está diseñado para la interpretación de los datos ingresados con respecto a las mediciones realizadas por el telurómetro a una distancia en relación con la resistividad que brinda el telurómetro sin necesidad de cálculos externos.

Los parámetros del modelo para el punto de sondeo analizado (resistividades, espesores, profundidades del techo de las capas y altitudes) son presentados por una línea azul en escalada semilogarítmica en la ventana de la curva. Estos parámetros son enumerados en una tabla dentro de una ventana aparte intitulada por el valor del error de ajuste. La curva teórica para el modelo analizado es graficada con línea roja en la ventana de la curva. El valor del error de ajuste representa la diferencia relativa entre las curvas teórica y práctica para el sondeo analizado y los parámetros de su modelo como se ilustra en la figura 9. (IPI2Win Guía de Usuario, 2000)

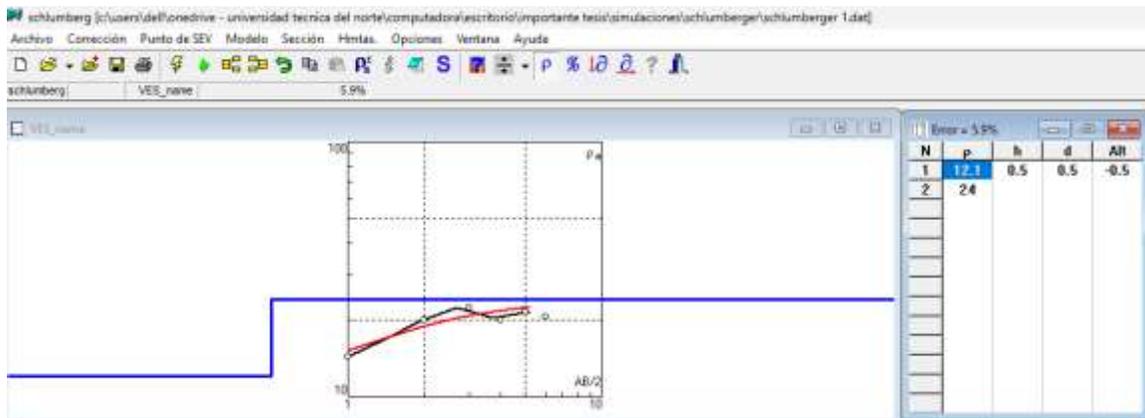
Otra ventaja que representa trabajar con IPI2Win respecto a otros softwares como ETAP es la posibilidad de emplear el método de Schlumberger y algunas variantes del método Wenner dado que ETAP solo puede procesar la información de resistividad aparente del método Wenner.

La curva teórica del modelo que se pretende analizar se muestra con una línea de color rojo, en la ventana de la curva, nótese la representación en la Figura 10

Simulación de la curva En la misma se representa el error dentro del ajuste representa la diferencia entre la curva teórica y la curva práctica.

Figura 10

Simulación de la curva



Nota. La Figura 10

Simulación de la curva muestra la pantalla en donde se genera la gráfica y proporciona la resistividad en relación con las diferentes capas de suelo. La gráfica en el eje de las abscisas es la distancia “a” siendo el método Wenner Alpha y el valor que se observa “AB/2” es para el método Schlumberger. El eje de las ordenadas es el valor de Resistividad “ ρ ”. Los parámetros del modelo como resistividades, espesores, profundidades de los estratos y sus alturas son representados por una línea de color azul, en una escala de unidades semilogarítmicas, véase la Figura 10 Simulación de la curva Además, la curva teórica del modelo que se pretende analizar se muestra con una línea de color rojo, en la ventana de la curva, nótese la representación. En la misma se representa el error dentro del ajuste representa la diferencia entre la curva teórica y la curva práctica.

2.3 Manejo del software IPI2WIN

Para realizar un cálculo idóneo de la resistividad del suelo se debe tener en cuenta que el software a utilizar posee bastos comandos y procedimientos a tomar en cuenta, los cuales se detallan a continuación:

1. **Ejecución de programa:** Ejecutamos el programa como administrador

Figura 11

Ejecución de programa IPI2WIN

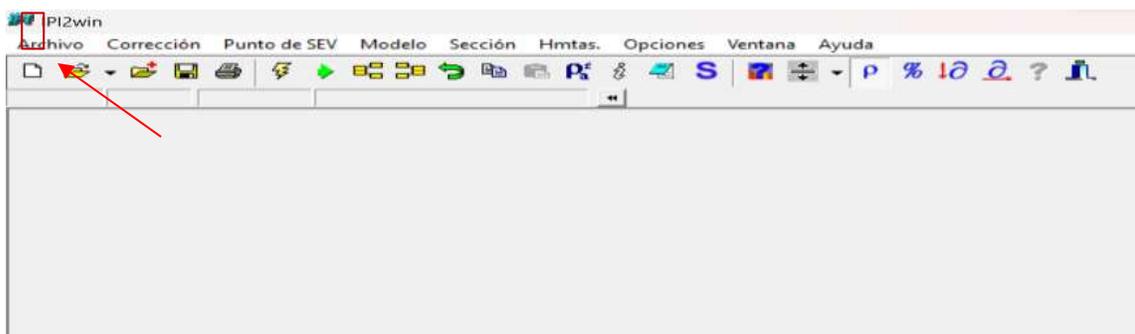


Nota. La Figura 11 muestra la ejecución de programa para su instalación en el ordenador.

2. **Instauración de un programa nuevo:** Crear un programa nuevo, con la base de datos vacía.

Figura 12

Creación de un programa nuevo

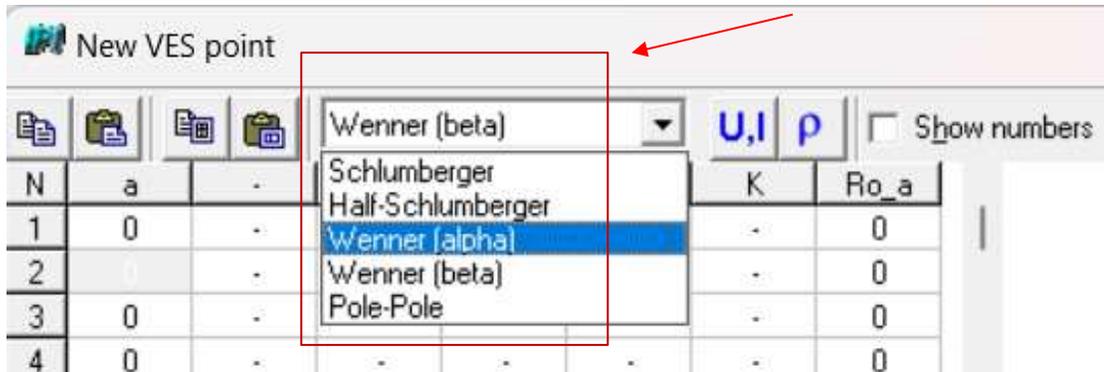


Nota. Se evidencia en la figura 12 la creación de un nuevo programa, con datos en blanco

- 3. Selección de método:** Escogemos el tipo de sondeo que se despliegan en las pestañas dependiendo de las necesidades del usuario.

Figura 13

Selección de método

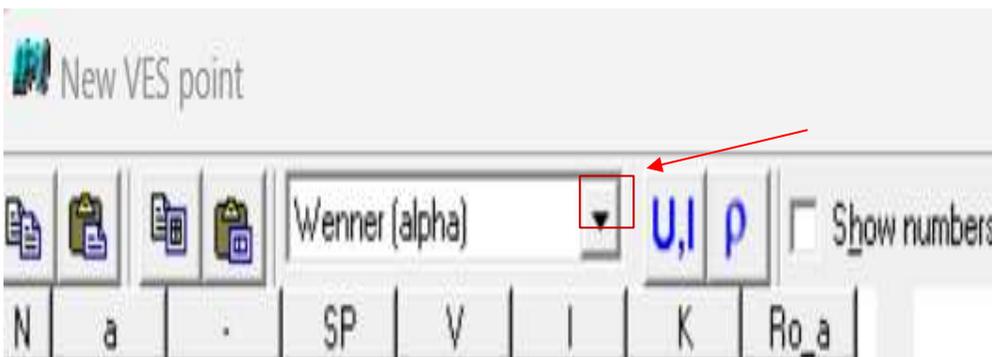


Nota. Se evidencia en la figura 12 la selección del método a utilizar en la medición.

- 4. Modificación de datos:** Modificamos los datos de entrada que sea directamente distancia con resistividad.

Figura 14

Relación distancia-Resistividad

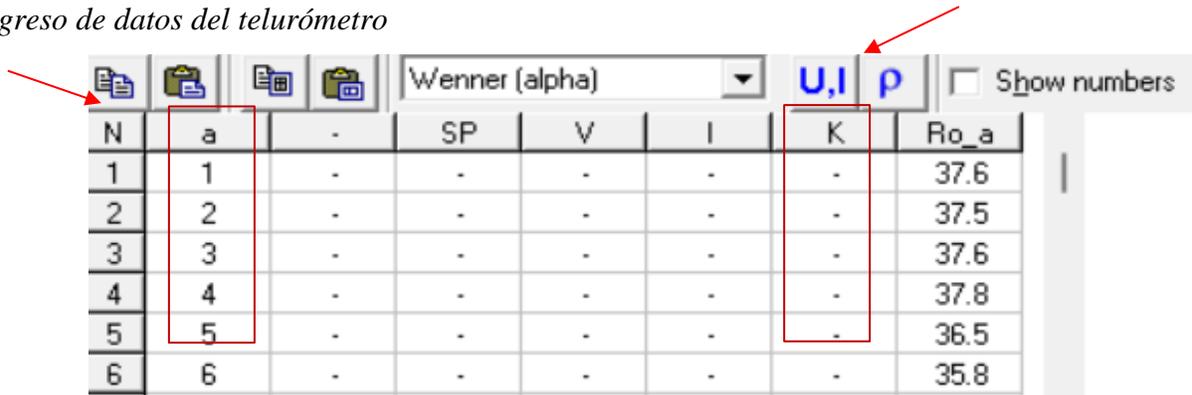


Nota. En la figura 14 se muestra la relación entre datos de la distancia con respecto a la resistividad.

5. **Incrustación de datos:** Ingresamos los datos medidos con el telurómetro distancia (a) y resistividad (R).

Figura 15

Ingreso de datos del telurómetro



N	a	-	SP	V	I	K	Ro_a
1	1	-	-	-	-	-	37.6
2	2	-	-	-	-	-	37.5
3	3	-	-	-	-	-	37.6
4	4	-	-	-	-	-	37.8
5	5	-	-	-	-	-	36.5
6	6	-	-	-	-	-	35.8

Nota. En la figura 15 se observa la inserción de valores captados por el telurómetro en la practicas de medición.

6. **Identificación de datos:** Ya ingresados los datos se va graficando cada uno de los puntos, en este momento se puede identificar datos fuera de rango que no va en relación con los otros puntos y se puede considerar que no es una buena medición y eliminar este punto.

Figura 16

Identificación de datos fuera de rango

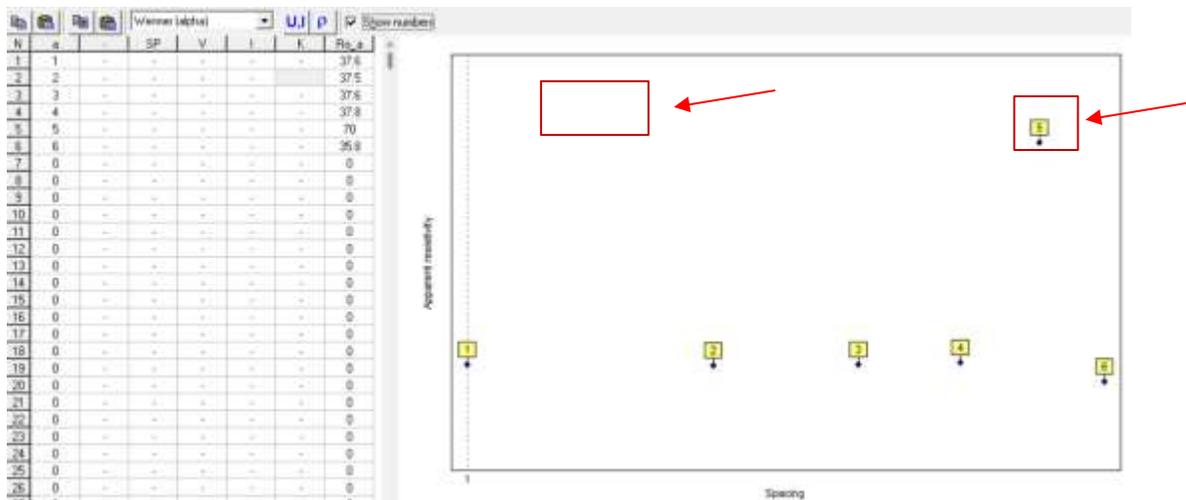


Nota. Se observa en la figura 16 los datos fuera de rango, los cuales no se alinean con los datos obtenidos en las otras mediciones.

- 7. Depreciación de puntos en la gráfica:** Casilla en caso de que se tenga muchas mediciones y saber cuál punto tenemos que depreciar.

Figura 17

Depreciación de puntos



Nota. Se observa en la Figura 17 los puntos que se depreciar dentro de la medición.

- 8. Almacenamiento de datos:** Para guardar los archivos de entrada; los datos ingresados se deben guardar presionando en SAVE TXT creamos una carpeta que se llame datos de Sondeo eléctrico vertical.

Figura 18

Almacenamiento de archivos de mediciones realizadas.

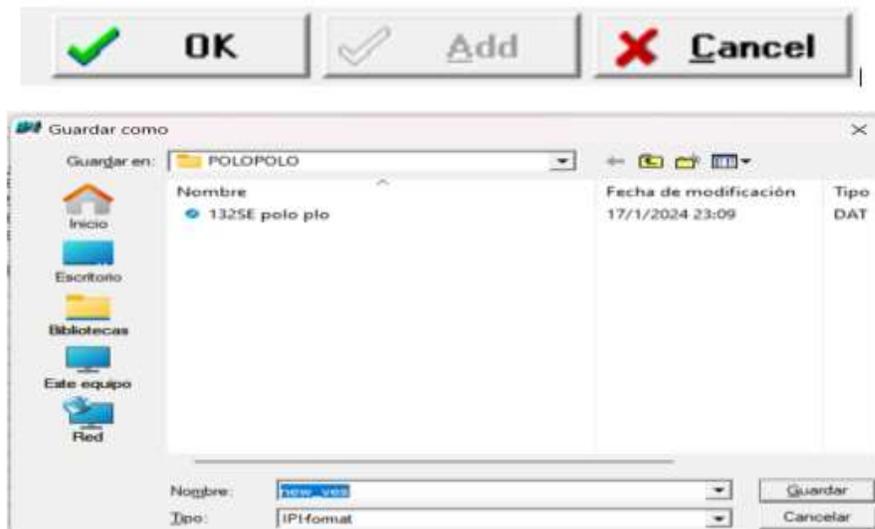


Nota. En la Figura 18 se muestra las pestañas que se almacenan los datos de las mediciones realizadas.

- 9. Selección de archivos de almacenamiento:** Ya que los archivos se hayan guardado presionamos en Ok seguidamente se abre una ventana para guardar los archivos de procesamiento de datos.

Figura 19

Selección de carpeta de archivo.



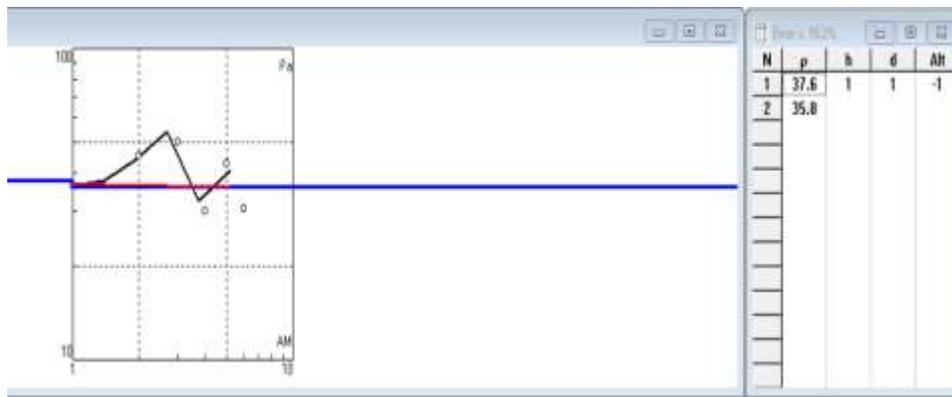
Nota. En la Figura 19 se muestra las carpetas para almacenar los datos recolectados.

10. Simulación de gráfica: Interpretación de datos a partir de la gráfica generada en el simulador

- Curva de color negro: curva de campo
- Curva de color rojo: curva calculada
- Línea azul: resistividad y espesor
- Moviendo la línea azul horizontalmente cambia el espesor y la profundidad
- Moviendo la línea azul verticalmente se modifica la resistividad

Figura 20

Simulación de Gráfica.



Nota. Se observa en la figura 20 la simulación de la gráfica obtenida en la medición.

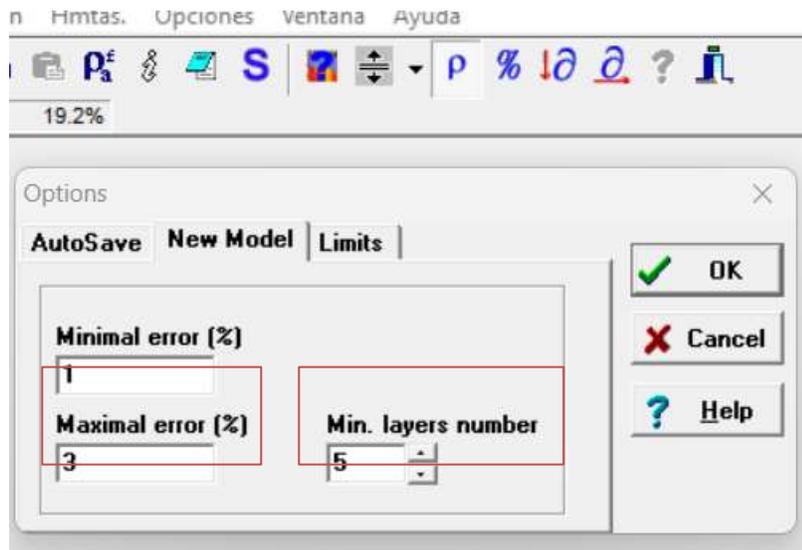
11. Análisis de la curva obtenida: El objetivo del software es que busca los valores de resistividad y espesores tales que el proceso de inversión le permita ajustar la curva de color rojo (curva calculada) en relación con la curva de color negro.

12. Estimación del número de capas: Para que el proceso anteriormente indicado se efectuó con éxito se debe:

- Ajustar la opción de añadir o disminuir el número de capas que se va a utilizar

Figura 21

Estimación del número de capas.

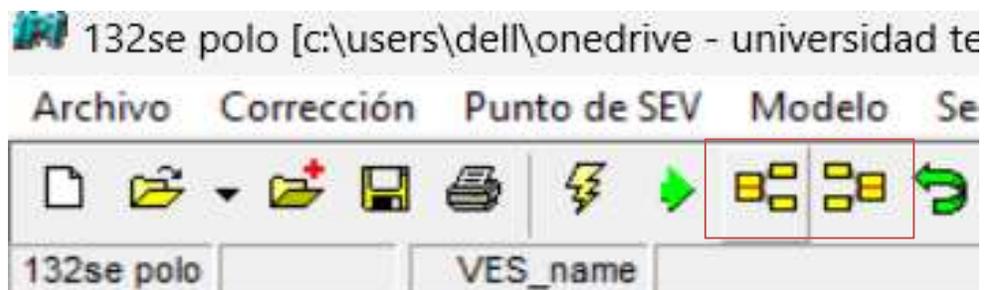


Nota. Se observa en la figura 21 el ajuste del número de capas que intervienen en la medición.

- Añadiendo capa una a una, ajustando en espesor y resistividad la curva de color rojo haciendo que se asemeje a la curva de color negro.

Figura 22

Asimilación entre curvas resultantes.

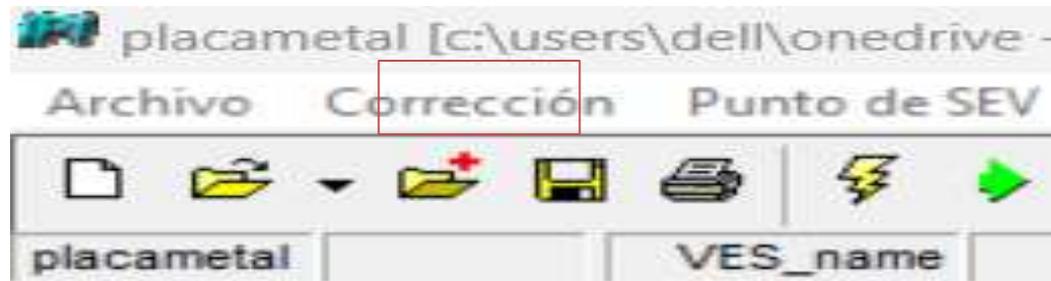


Nota. En la figura 22 se visualiza la similitud entre curvas resultantes derivadas de la medición.

- Después que hayamos ajustado lo que más se asemeje las dos curvas realizamos el proceso de inversión automático que nos va a ayudar a bajar el error de simulación.

Figura 23

Inversión automático

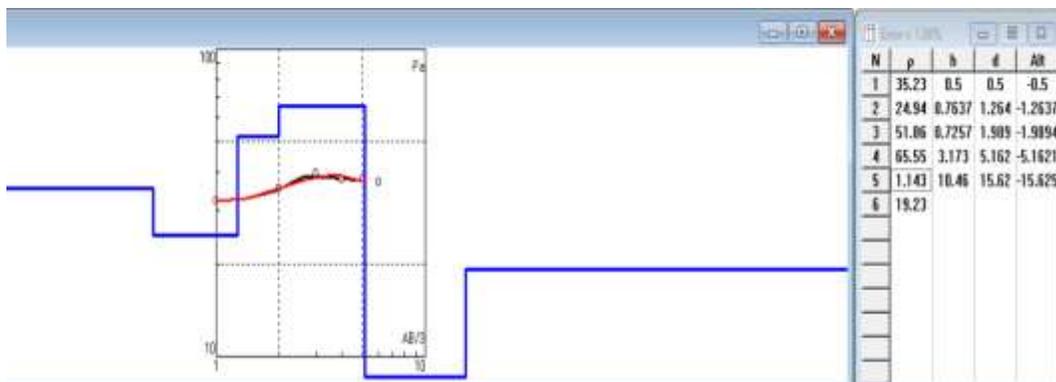


Nota. En la figura 23 se visualiza inversión automática para disminuir el error de simulación.

- El proceso requiere de paciencia ajustando de manera horizontal el espesor y verticalmente la resistividad en la tabla que se ubica a un lado.
- Este es un proceso que nos ahorra calcular de forma analítica y no utilizar ecuaciones diferencias complejas.

Figura 24

Gráfica resultante



Nota. En la figura 24 se visualiza la gráfica resultante con los datos predispuestos.

- Óptimamente se ocupa de 4 a 5 capas
- El máximo error de la simulación debe ser 3%
- Si se ocupa más de 5 capas se vuelve complejo el modelo

Figura 25

Datos requeridos en la medición con el software IPI2WIN

N	p	h	d	Alt
1	35.23	0.5	0.5	-0.5
2	24.94	0.7637	1.264	-1.2637
3	51.86	0.7257	1.989	-1.9894
4	65.55	3.173	5.162	-5.1621
5	1.143	10.46	15.62	-15.625
6	19.23			

Nota. Se muestra en la figura 25 los datos requeridos en la medición.

Tomar en cuenta:

Realizar una captura ya que el programa no contiene memoria de los datos de salida y es probable el que proceso no quede guardado; además que el significado de cada sigla es:

- **p** es resistividad
- **h** es espesor
- **d** es profundidad de la capa
- **Alt** es la altura con respecto a la superficie

2.4 Especificación de los equipos

Las especificaciones de los equipos están conformadas por el telurómetro y los instrumentos de estudios de suelos. Estos se describen seguidamente.

2.4.1 Telurómetro

Para la toma de los datos de resistividad y la resistencia de puesta a tierra se empleó el equipo DY4300 de la marca DUOYI. Este instrumento es capaz de medir sistemas de puestas a tierra en subestaciones, industrias, redes de distribución de energía, medir resistividad del terreno para instalación de puestas a tierra de baja, media y alta tensión. Funciona acorde con la normativa IEC 61010 – 1 CAT.III 300V. Se ilustra el equipo en la Figura 26 Telurómetro.

Este equipo cuenta con cuatro electrodos metálicos (tropicalizados), cables #14 AWG y su manual instructivo detallado en Ingles, ver Manual de instrucciones telurómetro Duoyi 4300.

Figura 26

Telurómetro



Nota. Se observa en la Figura 26 Telurómetro el telurómetro Duoyi-DY4300 que se utilizó para realizar las mediciones, fue el que se escogió porque se adaptó al estudio realizado. Se observa el electrodo en la parte izquierda como este con 4, de igual forma los cables que van conectados al telurómetro para realizar las mediciones.

Características

- Pantalla LCD
- La función Rk está disponible para cancelar la resistencia residual en los cables de prueba.
- Función de comprobación de batería.
- Función de medición de Resistencia a Tierra auxiliar.
- Las resistencias de tierra auxiliares se miden y muestran.
- Advertencia para mediciones de Resistencia a Tierra auxiliares.

- Las advertencias se muestran en la pantalla LCD cuando las resistencias auxiliares de tierra son demasiado altas y pueden provocar mediciones incorrectas.
- Función de apagado automático.
- Almacena hasta 1000 datos.

Especificaciones de trabajo

- IEC 61010-1 (CAT III 300V, CAT IV 150V grado 2 de contaminación)
- IEC 61557-1 5 comprobador de resistencia de tierra)
- IEC 61326-1 EMC estándar
- Rango de prueba (temperatura y humedad 23 ± 5 °C)

2.4.2 Instrumento de estudio de suelos

Es un medidor multiparámetros el cual es un dispositivo portátil, fácil de manejar y que determina valores de manera rápida y precisa.

Se utilizó el instrumento de estudios de suelos 4 en uno que mide el pH, temperatura y humedad del suelo. Son de mucha importancia para realizar las mediciones de cada método y de esta manera saber en realidad que parámetros tenemos y realizar de mejor manera una puesta tierra.

El equipo en cada uno de los parámetros que está diseñado a medir cuenta con rangos para señalar si el suelo está húmedo, ácido, neutro, alcalino, la temperatura en grados Celsius o Fahrenheit.

Figura 27

Medidor de PH-temperatura-humedad



Nota. En la **Figura 27** Medidor de PH-temperatura-humedad se puede observar el equipo que se utilizó para realizar el previo estudio de suelo que son necesarias tener en cuenta para el cálculo de la resistividad del terreno.

Características:

- Mide la luz solar (9 niveles).
- La humedad del suelo (5 niveles).
- El pH del suelo (12 niveles).
- Temperatura (° C y ° F).
- Sonda de 200 mm de largo
- Alta precisión

Especificaciones:

- Rangos de medida: Luz solar (9 niveles):
BAJO, BAJO, BAJO +, NOR-, NOR, NOR +, HGH-, HGH, HGH.
- Humedad (5 niveles): DRY +, DRY, NOR, WET, WET +.
- Valor PH (12 niveles): 3,5 ~ 9,0 pH.
- Temperatura: -9 ~ 50 ° C (16 ~ 122 ° F)
- Temperatura: 1 ° C / 1 ° F
- Resolución de pH: 0,5 pH
- Indicador de batería baja

2.5 Cuadro comparativo de los métodos de medición

Para elegir el método de medición adecuadas, se muestra un cuadro comparativo con los principales métodos de medida que son mencionados por los Estándares IEEE 80-2000 y IEEE 81-1983, así como sus características.

De acuerdo con Lavalle (2021), fundamentado en la tesis de la Universidad de Piura con tema: “Estudio comparativo de los métodos de medición de la resistividad del terreno” basándose en que ubicación es más factible instalar un sistema de puesta a tierra realizando las medidas en varias partes de un terreno explica que el método Wenner Alpha es el método que se la va a tomar como medida de referencia para comparar con los demás métodos.

Como se explicó anteriormente, el estudio de los métodos para el cálculo de la resistividad del terreno tiene como finalidad exponer cual es el que más se acerca a nuestras expectativas, por lo tanto, mediante un cuadro comparativo de los métodos seleccionados se va a comparar la

aplicación principal, ventajas, desventajas, precisión, requerimientos básicos, procedimientos y ejecución.

En la Tabla 3

Cuadro comparativo de los métodos de medición se muestran la comparación de los métodos que se escogió a lo largo del estudio.

Tabla 3

Cuadro comparativo de los métodos de medición

Concepto	Método de Schlumberger	Método de Wenner Alpha	Método de Wenner Beta	Método de Wenner Gamma	Método polo-polo
Aplicación Principal	Sondeos profundos (mayores a 100 m) para el diseño de C.C	Exploración de suelos a profundidad superficial	Exploración de suelos de media profundidad	Exploración de suelos a grandes profundidades	En sistemas eléctricos. en situaciones donde se requiere una medición rápida y aproximada de la resistencia de tierra
Ventajas	Debido a que los electrodos del centro quedan fijos, cuando se realizan varias mediciones, puede generar un ahorro de tiempo.	Rápido y sencillo. Adecuado para detección de capas delgadas. Bajo costo.	Mayor profundidad de exploración. Apto para suelos más complejos. Mayor precisión en condiciones complejas.	Penetración profunda en el subsuelo. Adecuado para investigaciones geofísicas profundas. Buena para detectar capas profundas	Es un método rápido y sencillo de aplicar, lo que permite obtener una medida aproximada de la resistencia de tierra en poco tiempo.

Desventajas	Los equipos que funcionan con esta configuración requieren de una mayor sensibilidad.	No apto para suelos estratificados o complejos.	Requiere más tiempo que el Método Alpha. Más costoso que el Método Alpha. Requiere más experiencia en la interpretación.	Mayor complejidad en el procedimiento. Influencia de capas superficiales en la interpretación.	El método de polo-polo tiende a proporcionar mediciones menos precisas en comparación con otros métodos más complejos.
Requerimientos Básicos	Alta sensibilidad del instrumento	Electrodo de corriente. Electrodo de potencial. Cableado adecuado. Electrómetros calibrados.	Electrodo de corriente. Electrodo de potencial. Cableado adecuado. Electrómetros calibrados.	Electrodo de corriente. Electrodo de potencial. Cableado adecuado. Electrómetros calibrados.	Se necesita un electrodo de tierra clavado en el suelo en la ubicación deseada y un cable de conexión adecuado y en buen estado para conectar el electrodo de tierra al instrumento de medición
Precisión	Robusto alta Precisión mayor a 0.5%	Alta	Moderada	Buena	Equipo medidor de resistencia
Procedimiento	Clavado de cuatro electrodos no equidistantes, se hace circular y	Ubicar cuatro electrodos en línea. Aplicar corriente	Ubicar cuatro electrodos en línea. Aplicar corriente entre los	Colocar electrodos en línea recta. Aplicar corriente entre	Conectar el cable de conexión del electrodo de tierra al

	mide una corriente entre los dos laterales móviles y los centrales fijos miden (VS)	entre los electrodos de corriente. Medir el voltaje entre los electrodos de potencial. Calcular la resistividad del suelo.	electrodos de corriente. Medir el voltaje entre los electrodos de potencial. Calcular la resistividad del suelo.	los electrodos de corriente. Calcular la resistividad del suelo.	instrumento de medida. Establecer el instrumento de medida en el modo de medición de resistencia de puesta a tierra.
Ejecución	Laboriosa	Rápida	Rápida	Laboriosa	Precisa

Nota. En la Tabla 3 Cuadro comparativo de los métodos de medición se presenta los conceptos de cada método seleccionado para el estudio con su análisis individual en la cual se detalla procedimiento, ejecución, precisión y requerimientos básicos para el desarrollo de los métodos a medir. Tomado de *Mediciones de resistividad del terreno* por Yanque, Mirko, s.f., (<https://www.edpproyectos.com/mediciones-de-resistividad-del-terreno>)

2.6 Tipos de técnicas para medir resistividad en el suelo.

Cuando se dificulta la medición por la existencia de concreto en el área seleccionada, para medir se procede a evaluar las posibles técnicas y comprobar su efectividad simulando con bases construidas de concreto como se muestra en la figura 23 y comparando en la misma ubicación con diferente procedimiento al ubicar los electrodos.

La utilización de simuladores de concreto permite la comparación entre procedimiento de captación de mediciones; puesto que son herramientas para análisis de mezclas y diseño de

estructuras con el fin de determinar resistencia, adherencia y fluidez del terreno antes de implementar cualquier propiedad sobre el mismo.

Figura 28

Simuladores de concreto para comparar procedimientos



Nota. En la Figura 24 se evidencia los simuladores de concreto para comparar el procedimiento de medición de la resistividad.

La resistividad se puede medir aplicando técnicas de cuatro electrodos, lo que influye en la aplicación de corriente eléctrica a través de los mismos y con ello verificar la caída de voltaje; no obstante, se puede realizar estas mediciones con herramientas digitales y tecnológicas de simulación, las cuales permiten comprender la medición de la resistividad de un terreno.

2.6.1 Medición con electrodos directamente al terreno

En estudios geotécnicos es una técnica común la medición de la resistividad del suelo directamente con electrodos, la cual permite evaluar la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica; lo que influye en la caracterización de estratos de suelo y detección de contaminación, con la evaluación de la idoneidad del terreno para sus aplicaciones.

Figura 29

Medición con electrodos directamente al terreno.



Nota. En la Figura 25 se refleja los electrodos de medición insertados directamente al terreno y conectados a un téster eléctrico.

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 9 con los datos necesarios para realizar la comparativa necesaria entre métodos de medición de resistividad en las inmediaciones de la institución educativa.

Tabla 4

Medición Electrodo-Terreno

Electrodo-Terreno	RESISTIVIDAD	
Fecha de medición: 3 de julio del 2023	Localidad: El Olivo-Ibarra-Imbabura-Ecuador	PH: 8,5
Hora: 7 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI-DY4300
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 19.3 °C	Frecuencia: Auto

Ubicación: N00°21,4440' O
078°06,7386'

Humedad: Dry

Electrodos/Cables: 4
electrodos, 4 cables

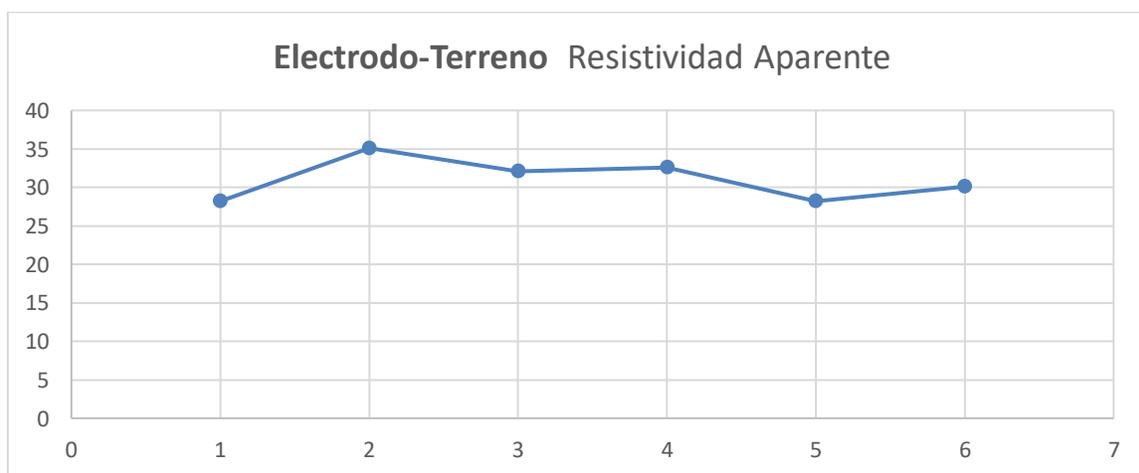
Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad Aparente ($\Omega \cdot m$)
O°N	1	28,2
	2	35,1
	3	32,1
	4	32,6
	5	28,2
	6	30,1

Nota. La Tabla 9 refleja los datos de la medición de electrodos insertados directamente en el terreno.

Una vez tomados los datos con esta técnica se procede a insertar los mismo en Microsoft Excel, con el fin de sondear la resistividad aparente mediante la ponderación obtenida.

Figura 30

Valores obtenidos en Microsoft Excel Electrodo-Terreno.



suministrarla corriente eléctrica y poder medir la caída de voltaje entre la placa y un electrodo insertado en el concreto.

Con la utilización de esta técnica; proporciona datos inherentes sobre la calidad y resistencia a la corrosión; tomando en cuenta factores que pueden variar como la temperatura, humedad, composición del concreto y aditivos incrustados.

Figura 32

Placas de hierro junto a electrodo sobre cemento.



Nota. En la Figura 28 se refleja las placas de hierro junto al electrodo de cemento

Los datos presentes en la medición con placas de hierro se reflejan en la siguiente tabla, donde están presentes valores fundamentales para la medición de la resistividad del concreto.

Tabla 5

Medición Electrodo con Placa Metálica

Electrodo-Placa Metálica	RESISTIVIDAD
---------------------------------	---------------------

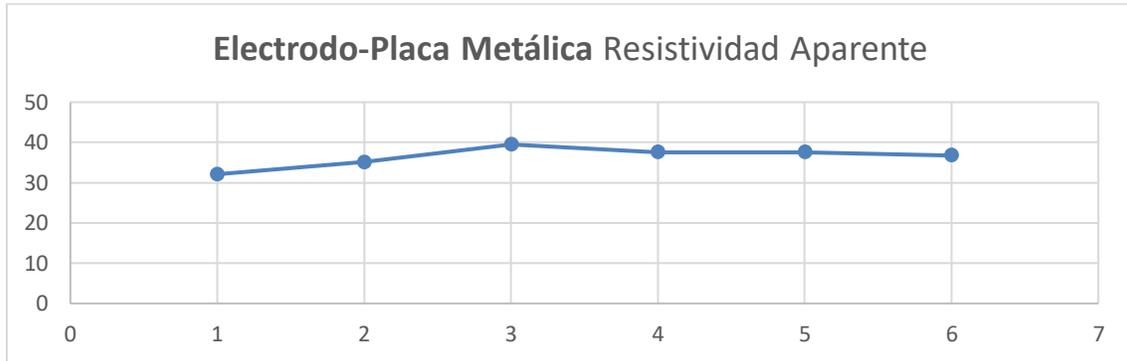
Fecha de medición: 3 de julio del 2023	Localidad: El Olivo-Ibarra-Imbabura-Ecuador	PH: 8,5
Hora: 7 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI-DY4300
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 19.3 °C	Frecuencia: Auto
Ubicación: N00°21,4440' O 078°06,7386'	Humedad: Dry	Electrodos/Cables: 4 electrodos, 4 cables
Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad Aparente ($\Omega \cdot m$)
	1	32,1
	2	35,1
O°N	3	39,5
	4	37,6
	5	37,6
	6	36,8

Nota. En la Tabla 10, se reflejan valores de los datos de recolección mediante la técnica de medición con electrodo con placa metálica.

Posteriormente los valores obtenidos se insertan en Microsoft Excel, con el fin de ponderar en una gráfica la resistividad aparente.

Figura 33

Gráfica Valores en Excel Electrodo-Placa Metálica

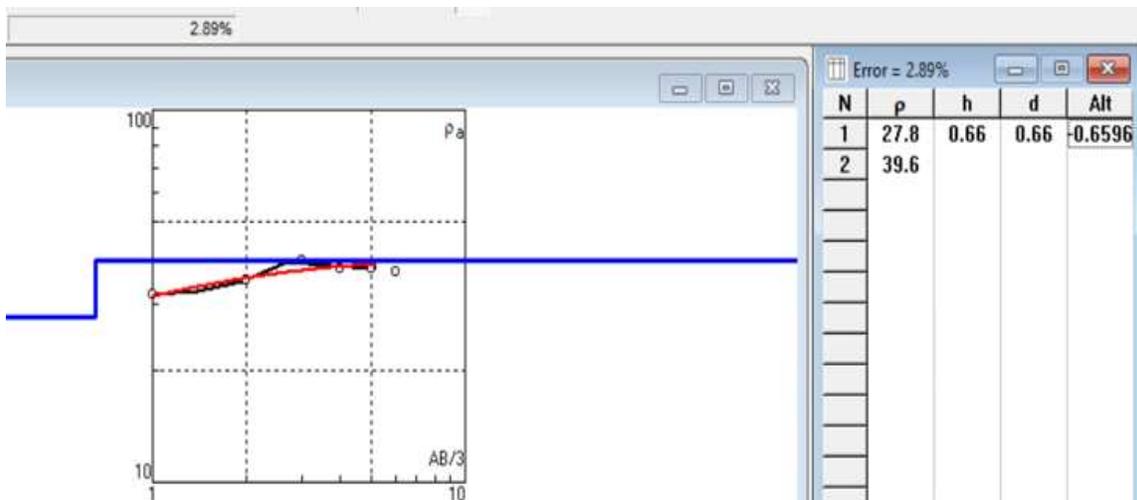


Nota. La Figura 29 refleja los datos de la medición de electrodos con placa metálica en el concreto.

Finalmente se insertan valores obtenidos utilizados con la técnica de medición resistividad con electrodos con placa metálica; con la finalidad de simular en el programa IPI2WIN, acoplando las diferentes magnitudes encontradas.

Figura 34

Gráfica de los valores simulados en IPI2WIN de Electrodo-Placa Metálica



Nota. La Figura 30 refleja los datos de la medición de electrodos con placa metálica en el concreto.

Los valores de corriente y voltaje obtenidos reflejan la resistividad que propone el terreno en estudio, con base al concreto; hay que definir que los datos definitivos pueden variar dependiendo de factores que influyen en el margen de error; para lo que es muy importante considerar un tiempo de medición prudente y realizar una repetición de medidas si fuese el caso.

2.6.3 Medición con electrodos utilizando una Franela Húmeda

La técnica de medición de la resistividad es un procedimiento rápido y verás, además de ser simple su aplicación; puesto que, se utiliza para obtener una estimación rápida de la uniformidad de la superficie del concreto en términos de resistividad eléctrica; la utilización de la franela debe ser en una superficie limpia y que no exista goteo de agua por parte de la misma, posteriormente se conecta el electrodo atreves de la franela al concreto, lo que referenciara una lectura de correlación de la resistividad superficial.

Figura 35

Electrodos utilizando una franela húmeda



Nota. La Figura 31 refleja la toma de datos utilizando una franela húmeda.

Una vez realizada la práctica se toma los datos pertinentes; los cuales son reflejados a continuación:

Tabla 6

Medición Electrodo con Franela Húmeda

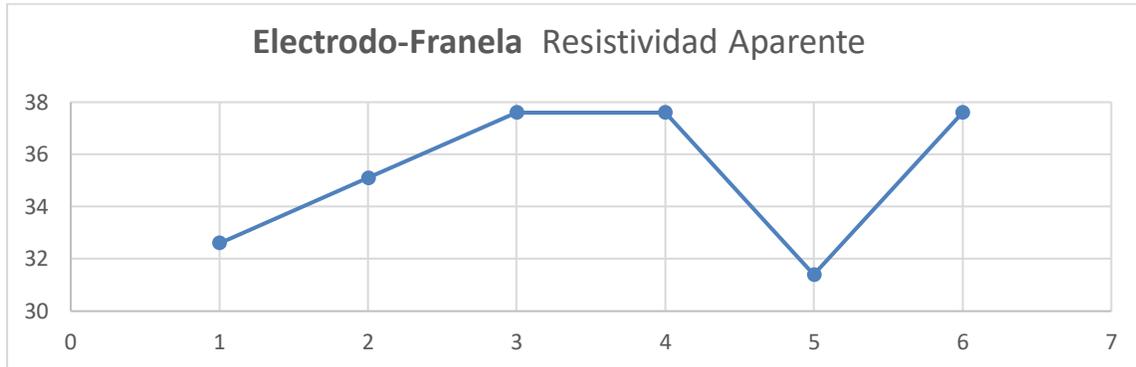
Electrodo-Franela		RESISTIVIDAD	
Fecha de medición: 3 de julio del 2023	Localidad: El Olivo-Ibarra-Imbabura-Ecuador	PH: 8,5	Equipo: DUOYI-DY4300
Hora: 7 a.m.	flora: Si, no abundante.	Temperatura: 19.3 °C	Frecuencia: Auto
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Ubicación: N00°21,4440' O 078°06,7386'	Humedad: Dry	Electrodos/Cables: 4 electrodos, 4 cables
Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad Aparente ($\Omega \cdot m$)	
O°N	1	32,6	
	2	35,1	
	3	37,6	
	4	37,6	
	5	31,4	
	6	37,6	

Nota. La Tabla 11 evidencia los datos relevantes en torno a la captación de valores de resistividad con la utilización de una franela húmeda.

Una vez verificados los datos obtenidos, se inserta en Microsoft Excel con el fin de visualizar la gráfica de valores según la ponderación obtenida.

Figura 36

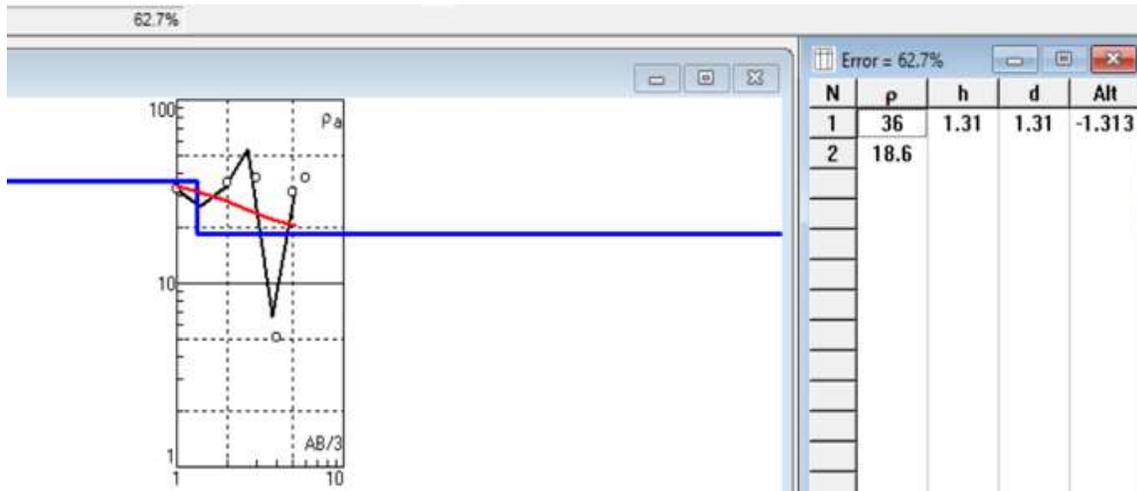
Gráfica Valores en Excel con Franela Húmeda



Nota. La Figura 32 evidencia datos obtenidos y ponderados con la utilización de la franela húmeda en los electrodos de medición de concreto.

Figura 37

Gráfica de los valores simulados en IPI2WIN de Franela Húmeda



Nota. La Figura 33 refleja los datos de la medición de electrodos con placa metálica en el concreto.

La resistividad del concreto se faculta en relación a la profundidad de que se lo mida; lo que repercute en factores clave que caracterizan la composición del concreto y el tipo de método que se utilice para captación de datos, los cuales reflejen la pertinencia y factibilidad de ejecutar trabajos eléctricos en un sector determinado del terreno investigado.

Utilizando las tres técnicas de recolección de datos en torno a la resistividad del terreno sobre concreto se evidencia que a mayor profundidad del suelo se obtiene mayor resistividad; obteniendo una línea semirrecta oblicua, con tendencia a la alza con las dos primeras técnicas; y con la tercer técnica se evidencia un desfase de la resistividad en torno a la distancia, con picos ascendentes y descendentes; puesto que es un método rápido, que incluye la toma de varias pruebas para obtener un resultado fehaciente.

Se evidencia, que el concreto según la norma IEEE2080 la curva entre mayor sea la distancia, su resistividad debe bajar; lo que determina que depende factores como la humedad y estado de la superficie, además de la profundidad con las que incrusten los electrodos, este cálculo de resistividad facultara la buena disipación de tensión y corriente; teniendo en cuenta que norma refleja que debe ser menor a 25 ohmios si se va realizar una toma convencional.

2.7 Tabla comparativa entre técnicas para medir resistividad del suelo

La medición de la resistividad en el suelo es fundamental por el hecho de su capacidad de resistencia de la electricidad; por tal hecho las técnicas de medición de resistividad facultan la medición sobre distintos tipos de superficies de suelo; puesto que facultan la toma de datos desde suelos arcillosos hasta concreto.

Las técnicas descritas anteriormente se basan en el empleo de materiales extras para la toma de la caída de potencial sobre los electrodos de captación, después del suministro de energía a

través de los electrodos de suministro de corriente. Es importante realizar estas técnicas de medición antes de edificar y conectar la red eléctrica con puesta a tierra; con el fin de facultar la seguridad de las conexiones, inexistencia de acuíferos, entre otros.

A continuación, se muestra la comparación entre técnicas:

Tabla 7*Tabla Comparativa entre Técnicas*

TÉCNICAS PARA CALCULAR LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD			
	<i>Técnica de Electrodo directamente a tierra</i>	<i>Técnica de Electrodo con placa metálica</i>	<i>Técnica de Electrodo con franela húmeda</i>
Aplicación	Empleado en superficies horizontales y verticales.	Empleado en estructuras geológicas complejas.	Áreas selectas donde su configuración para obtener contacto entre el electrodo y el suelo
Tipo de suelo	Enterrado directamente al suelo	En superficies de concreto y tierra	En superficies de concreto y tierra
Disposición de Electrodo	Según el método a utilizar para la medición	Según el método a utilizar para la medición	Según el método a utilizar para la medición
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodo • Martillo • Cables • Equipo de medición 	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodo • Placas Metálicas • Cables • Equipo de medición 	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodo • Franela o Pañuelo • Cables • Equipo de medición

Tabla 8*Tabla Comparativa entre mediciones de técnicas*

Resultado de mediciones comparativo entre técnicas					
Técnica	ρ	h	d	Alt.	Error
Electrodo directamente al suelo	28.2	0.5	0.5	-0.5	0.02398
Electrodo con placa metálica	32.1	0.66	0.66	-0.659	0.02376
Electrodo con franela húmeda	32.6	1.31	1.31	-1.313	0.02396

2.8 Análisis e interpretación mediante curvas patrón de las medidas de campo

El análisis es un componente esencial en la investigación científica, particularmente en el ámbito de la ingeniería eléctrica. Al abordar este tema, se busca obtener una comprensión profunda de las mediciones realizadas en campo específicamente a través del uso de curvas patrón.

En el contexto de la Ingeniería en Electricidad, la aplicación de curvas patrón se traduce en una metodología clave para la evaluación y análisis de datos provenientes de campo relacionado con la resistividad del suelo. La curva patrón se escoge luego de hacer un estudio exhaustivo de cuál es el método para tomarlo como medida real.

Este proceso de análisis e interpretación revisa una importancia crucial, ya que permite validar y contextualizar las mediciones efectuadas, garantizando la confiabilidad y precisión de los resultados obtenidos. A través de la comparación de los datos recolectados con las curvas patrón,

se facilita la identificación de posibles desviaciones, errores sistemáticos o variaciones significativas en las mediciones de campo, contribuyendo así a la robustez y confiabilidad de la investigación.

A continuación, se muestra los resultados de cada uno de los métodos estudiados en el cual se detalla ubicación de los electrodos la fecha, condiciones climáticas, factores, equipo, materiales, dirección, distancia entre electrodos y la resistividad de cada método para el cálculo de la resistividad del terreno.

2.8.1 Método Wenner Alpha

Para efectuar la medición utilizando este método se colocó los 4 electrodos en un arreglo en línea recta como se ilustra en la gráfica en la Figura 38

Ubicación de los electrodos Wenner Alpha.

Lavalle en su tesis recomienda realizar las mediciones en 4 sentidos con respecto a un eje en este caso se va a comparar las mediciones en un solo sentido y el resto van a estar disponibles en anexos.

Figura 38

Ubicación de los electrodos Wenner Alpha



Nota. En la Figura 38

Ubicación de los electrodos Wenner Alpha se observa la disposición de los electrodos siendo respectivamente C1, P1, P2 y C2 a una misma distancia “a”.

Tabla 9

Parámetros del terreno a 132°SE

TERRENO		RESISTIVIDAD
Fecha de medición: 4 de julio del 2023	Localidad: El Olivo- Ibarra- Imbabura-Ecuador	PH: 8,5
Hora: 8 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI-DY4300
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 24 °C	Frecuencia: Auto
Ubicación: N00°21,4440' O 078°06,7386'	Humedad: Dry +	Electrodos/Cables: 4 electrodos, 4 cables
Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
132°SE	1	37,6
	2	37,6
	3	37,6
	4	37,6
	5	37,5
	6	37,6

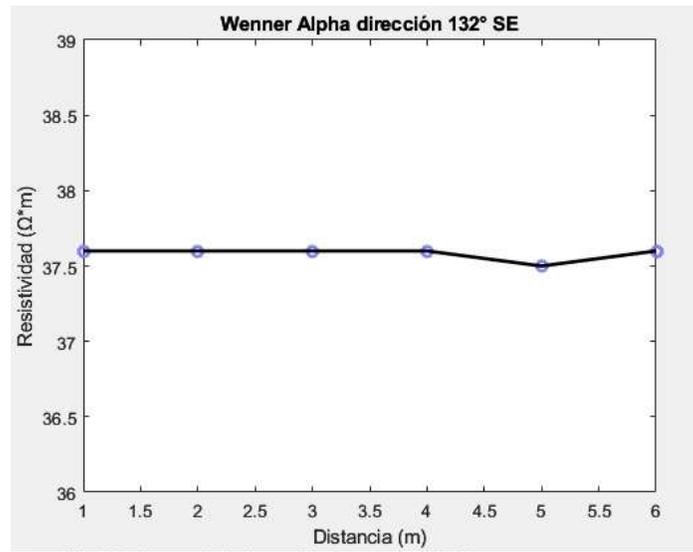
Nota. En la Tabla 9 Parámetros del terreno a 132°SE se puede observar todos los datos que son necesarios para realizar una correcta medición en la cual se toma en cuenta la fecha, hora, ubicación exacta, si existe flora cercana al lugar a medir, temperatura, humedad, pH, equipo a utilizar, el sentido de la medición ya que cada método se mide en cuatro sentidos, la separación que existe entre cada electrodo y finalmente la resistividad medida con el telurómetro.

En la Figura 40

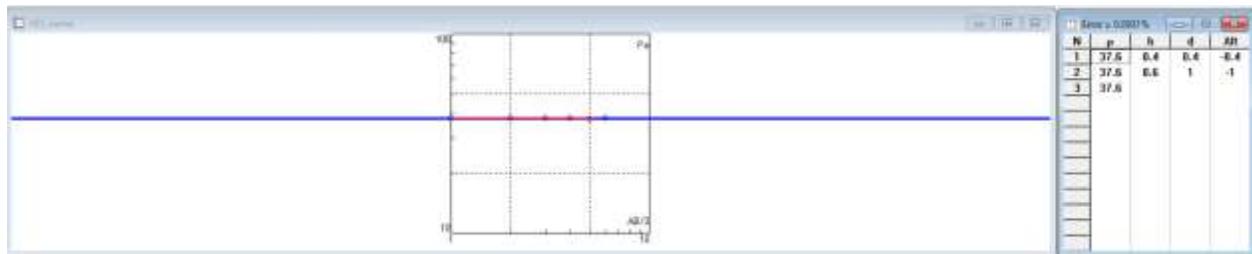
Ubicación de los electrodos Wenner Beta se representa la resistividad real inciso a y en el inciso b se presenta la resistividad simulada. Se detalla a continuación.

Figura 39

Gráfica de resistividad Wenner Alpha a 132°SE.



(a). Resistividad Real



(b). Simulación de resistividad en IPI2WIN

Nota. En la Figura 39 Gráfica de resistividad Wenner Alpha a 132°SE. (a) se tiene los resultados proporcionados por el telurómetro; de la medición real de la resistividad nótese que en la Figura 39 Gráfica de resistividad Wenner Alpha a 132°SE. (b) se tiene la simulación de la resistividad que aparentemente es una recta horizontal, no obstante, en el eje de las ordenadas se tiene un límite

inferior de diez y un límite superior de cien. Al acercar la gráfica de la simulación de resistividad se puede apreciar su similitud en comparación a la curva real.

También es imprescindible detallar la fórmula para calcular la resistividad del suelo con método Wenner Alpha la cual es la siguiente:

$$\rho = k_x a_x R$$

Donde:

ρ es la resistividad del suelo.

K es una constante dependiente de la configuración de los electrodos.

a es la separación entre los electrodos.

R es la resistencia medida.

2.8.2 Método Wenner Beta

La variante Wenner Beta utiliza los 4 electrodos en línea recta y de forma equidistantes donde lo único que cambia es la posición de los electrodos de corriente por los de potencial, como se

ilustra

Figura

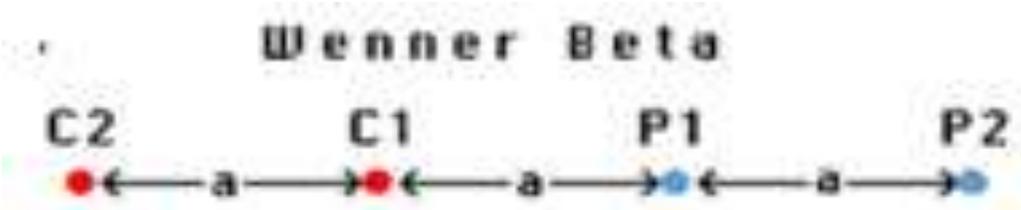
40

Ubicación de los electrodos Wenner Beta.

Figura 40

Ubicación de los electrodos Wenner Beta

Nota. En la Figura 40



Ubicación de los electrodos Wenner Beta se observa la disposición de los electrodos siendo respectivamente C2, C1, P1 y P2 a una misma distancia “a”.

Tabla 10

Parámetros del terreno a 132°SE

TERRENO		RESISTIVIDAD
Fecha de medición: 5 de julio del 2023	Localidad: El Olivo- Ibarra- Imbabura-Ecuador	PH: 8,5
Hora: 8 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI-DY4300
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 23,4 °C	Frecuencia: Auto
Ubicación: N00°21,4440' O 078°06,7386'	Humedad: Dry	Electrodos/Cables: 4 electrodos, 4 cables
Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
	1	34,5
	2	36,1
	3	37,6
	4	37,8
	5	40,7
	6	36,1

Nota. En la Figura 41 Gráfica de resistividad Wenner Beta 132°SE (a) se tiene los resultados proporcionados por el telurómetro; de la medición real de la resistividad nótese que en la Figura 41 Gráfica de resistividad Wenner Beta 132°SE (b) se tiene la simulación de la resistividad que aparentemente es una recta horizontal, no obstante, en el eje de las ordenadas se tiene un límite inferior de diez y un límite superior de cien. Al acercarse la gráfica de la simulación de resistividad se puede apreciar su similitud en comparación a la curva real.

A continuación, se detalla la fórmula para calcular la resistividad del suelo con método Wenner Beta la cual es la siguiente:

$$\rho = 6\pi \times a \times R$$

Donde:

ρ es la resistividad del suelo.

a es la separación entre los electrodos.

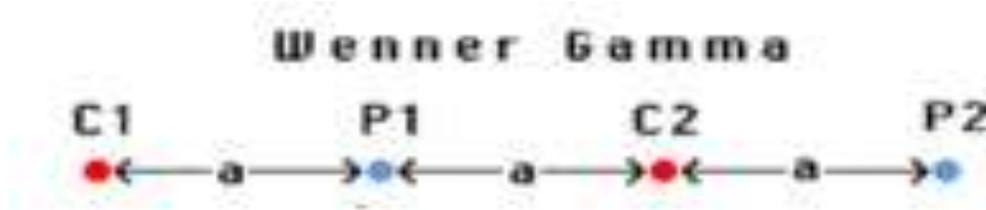
R es la resistencia medida.

2.8.3 Método Wenner Gamma

La variante Wenner Gamma utiliza los 4 electrodos en línea recta y de forma equidistantes donde lo único que cambia es la posición de los electrodos de corriente por los de potencial, como se ilustra en la Figura 42 Ubicación de los electrodos Wenner Gamma.

Figura 42

Ubicación de los electrodos Wenner Gamma



Nota. En la Figura 40

Ubicación de los electrodos Wenner Beta se observa la disposición de los electrodos siendo respectivamente C1, P1, C2 y P2 a una misma distancia “a”.

Se coloca los electrodos en la dirección establecida y se determina los parámetros del terreno, así como también se determina el valor de la resistencia aparente y la simulación correspondiente en el software IPI2WIN, como se ilustra en la **Tabla 11** Parámetros del terreno a 132° SE.

Tabla 11

Parámetros del terreno a 132° SE

TERRENO		RESISTIVIDAD
Fecha de medición: 6 de julio del 2023	Localidad: El Olivo- Ibarra- Imbabura-Ecuador	PH: 8,5
Hora: 8 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI- DY4300
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 22 °C	Frecuencia: Auto
Ubicación: N00°21,4440' O 078°06,7386'	Humedad: Dry +	Electrodos/Cables: 4 electrodos, 4 cables
Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad Aparente ($\Omega \cdot m$)
132°SE	1	40,2

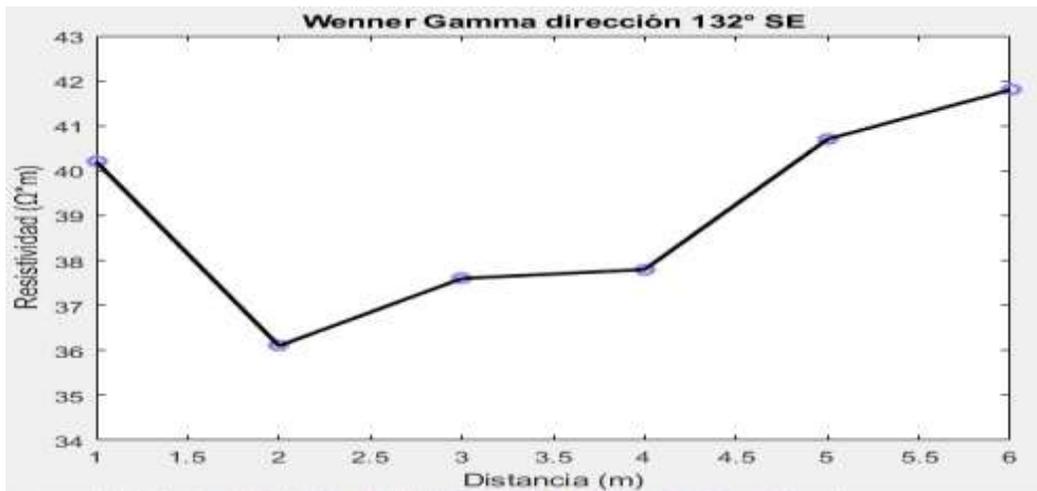
2	36,1
3	37,6
4	37,8
5	40,7
6	41,8

Nota. En la Tabla 11

Parámetros del terreno a 132° SE se puede observar todos los datos que son necesarios para realizar una correcta medición en la cual se toma en cuenta la fecha, hora, ubicación exacta, si existe flora cercana al lugar a medir, temperatura, humedad, pH, equipo a utilizar, el sentido de la medición ya que cada método se mide en cuatro sentidos, la separación que existe entre cada electrodo y finalmente la resistividad medida con el telurómetro.

Figura 43

Gráfica de resistividad Wenner Gamma a 132° SE



(a). Resistividad Real

Nota. En la Nota. En la Tabla 11

Parámetros del terreno a 132° SE se puede observar todos los datos que son necesarios para realizar una correcta medición en la cual se toma en cuenta la fecha, hora, ubicación exacta, si existe flora cercana al lugar a medir, temperatura, humedad, pH, equipo a utilizar, el sentido de la medición ya

que cada método se mide en cuatro sentidos, la separación que existe entre cada electrodo y finalmente la resistividad medida con el telurómetro.

Figura

43

Gráfica de resistividad Wenner Gamma a 132° SE (a) se tiene los resultados proporcionados por el telurómetro; de la medición real de la resistividad.

También es imprescindible detallar la fórmula para calcular la resistividad del suelo con método Wenner Gama la cual es la siguiente:

$$\rho = 3\pi \times a \times R$$

Donde:

ρ es la resistividad del suelo.

a es la separación entre los electrodos.

R es la resistencia medida.

2.8.4 Método Wenner-Schlumberger

Para efectuar la medición utilizando este método se debe colocar los 4 electrodos en un arreglo en línea recta como se ilustra en la gráfica en la Figura 44

Ubicación de electrodos Wenner Schlumberger.

Figura 44

Ubicación de electrodos Wenner Schlumberger



Nota. En la Figura 44

Ubicación de electrodos Wenner Schlumberger se observa la disposición de los electrodos siendo respectivamente C1, P1, P2 y C2 a una misma distancia “a” lo que es potencial y a una distancia de corriente a potencial como indica la Figura 44

Ubicación de electrodos Wenner Schlumberger.

Se procede a calcular los parámetros iniciales del terreno como se muestra en la tabla 7, y se determina las gráficas de resistividad aparente en contraste con su simulación en el programa de IPI2WIN.

Tabla 12

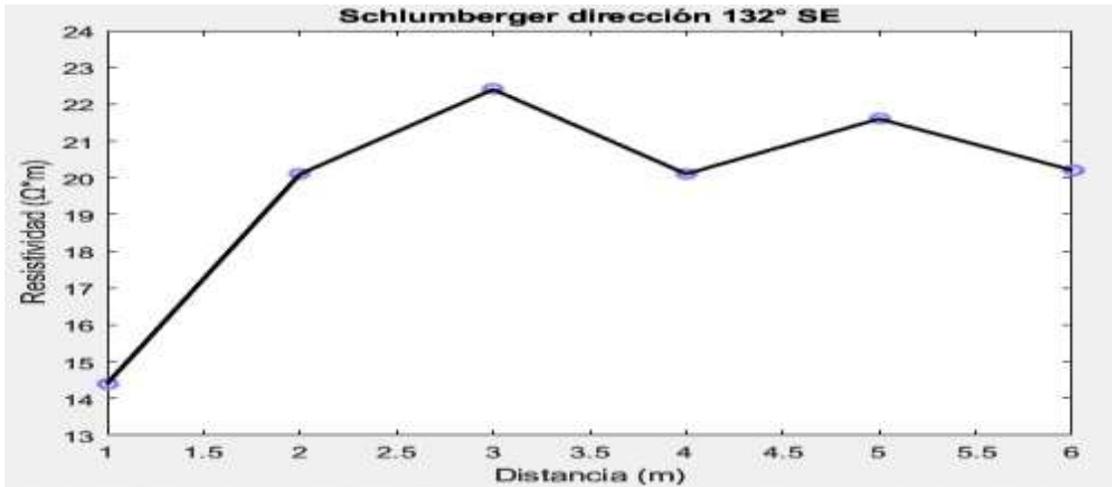
Parámetros del terreno a 132°SE

TERRENO		RESISTIVIDAD
Fecha de medición: 11 de julio del 2023	Localidad: El Olivo- Ibarra- Imbabura-Ecuador	PH: 8,5
Hora: 8 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI-DY4300
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 24 °C	Frecuencia: Auto
Ubicación: N00°21,4440' O 078°06,7386'	Humedad: Dry +	Electrodos/Cables: 4 electrodos, 4 cables
Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad Aparente ($\Omega \cdot m$)
132°SE	1	14,4
	2	20,1
	3	22,4
	4	20,1
	5	21,6

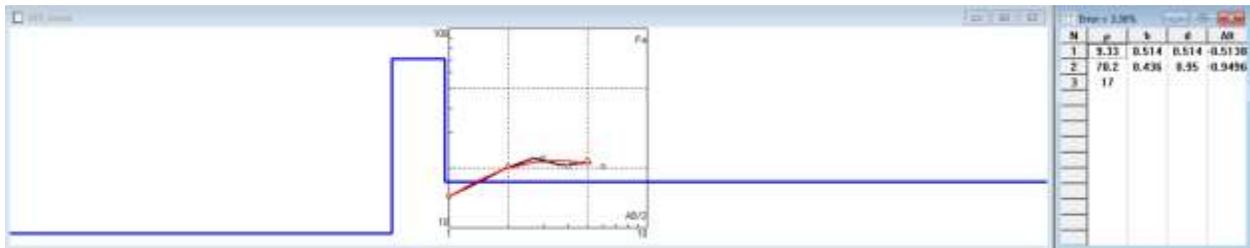
Nota. En la Tabla 7 se evidencia todos los parámetros del terreno, en función de la resistividad.

Figura 45

Gráfica de resistividad Schlumberger a 132° SE



(a). Resistividad aparente



(b). Simulación de resistividad en IPI2WIN

Nota. En la Figura 20 se refleja la resistividad Schlumberger a 132° SE en función de la distancia; donde también se evidencia la simulación de la misma con el programa IPI2WIN.

Se detalla a continuación fórmula para calcular la resistividad del suelo con método Wenner-Schlumberger la cual es la siguiente:

$$\rho = \pi R \times L/a$$

Donde:

ρ es la resistividad del suelo.

L es la distancia

a es la separación entre los electrodos.

R es la resistencia medida.

2.8.5 Método polo-polo

Para efectuar la medición utilizando este método se debe colocar los 4 electrodos en un arreglo en línea recta como se ilustra en la gráfica en la **Figura 46**

Ubicación de los electrodos polo-polo.

Figura 46

Ubicación de los electrodos polo-polo



Nota. En la Figura 46

Ubicación de los electrodos polo-polo se observa la disposición de los electrodos siendo respectivamente C1 y P2 a una distancia “a”.

Tabla 13

Parámetros del terreno a 132°SE

PLACA TERRENO		RESISTIVIDAD
Fecha de medición: 10 de julio del 2023	Localidad: El Olivo- Ibarra- Imbabura-Ecuador	PH: 8,5
Hora: 8 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI- DY4300
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 25 °C	Frecuencia: Auto

Ubicación:

N00°21,4440' O

078°06,7386'

Electrodos/Cables: 3

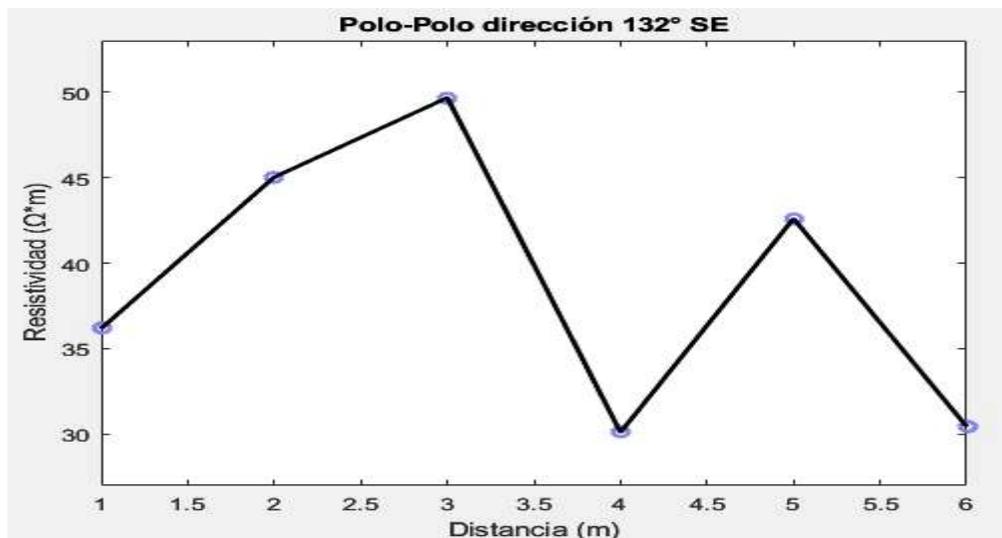
electrodos, 3 cables

Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad Aparente ($\Omega \cdot m$)
132°SE	1	36,18
	2	45,02
	3	49,66
	4	30,11
	5	42,6
	6	30,45

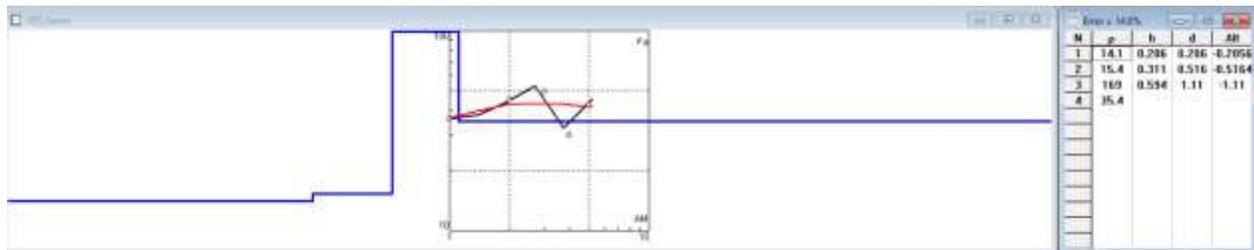
Nota. En la Tabla 8 se evidencia los parámetros del terreno a 132°SE, con el método polo-polo.

Figura 47

Gráfica de resistividad polo-polo dirección 132° SE



(a). Resistividad Real



(b). Simulación de resistividad en IPI2WIN

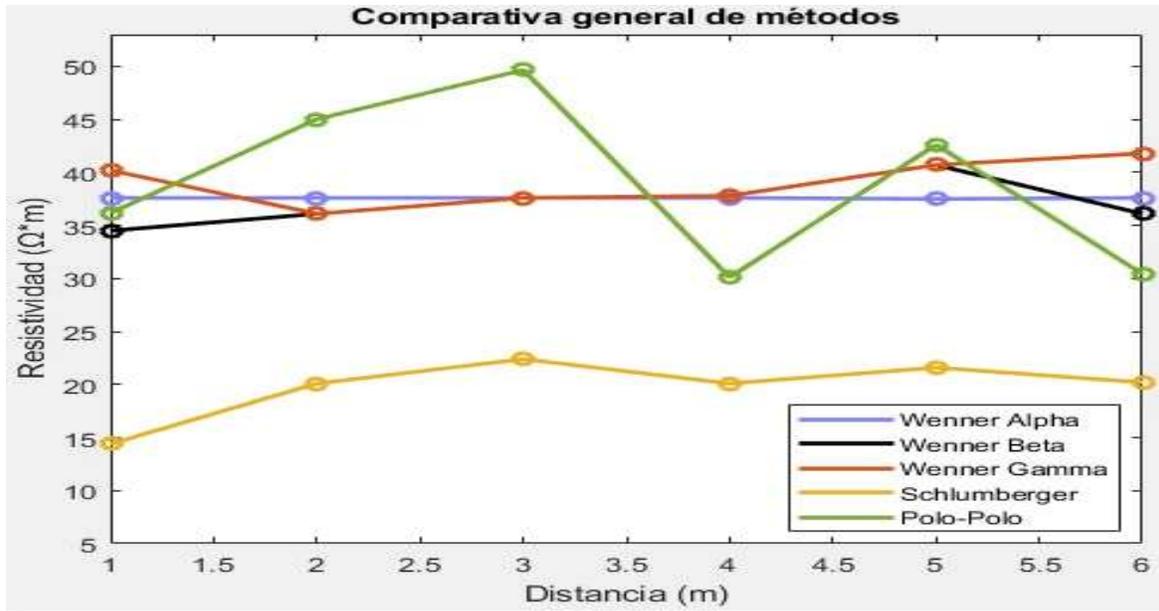
Nota. En la Figura 22 se evidencia las variaciones de la resistividad en función de la distancia con el método polo-polo dirección 132° SE.

2.9 Tabla comparativa general de métodos de resistividad del terreno

La medición del pH del suelo desempeña un papel crucial, ya que la elección apropiada del tipo de barra de cobre en la puesta a tierra dependerá significativamente el tipo específico de suelo. Para así, el material de relleno para un SPT debería tener un índice entre 6,0 (ácido) y 10,0 (alcalino), para la barra escoger un material con aislamiento a estas condiciones naturales y de igual forma identificar el tipo de mantenimiento a efectuarse para alargar la vida útil de la puesta a tierra. De igual forma en este estudio se considera los valores de temperatura, humedad específicamente del suelo, en la figura 11 se ilustra el instrumento de medida.

Figura 48

Gráfica comparativa entre métodos utilizados.



Nota. En la Figura 23 refleja los valores obtenidos de la resistividad en función de la distancia con los métodos empleados en el desarrollo de la investigación en curso.

Mediante las simulaciones computacionales se puede validar los resultados experimentales y comprender mejor cómo se comporta la resistividad bajo diferentes condiciones, es así, que se logró evaluar la influencia de factores como la variación en la distancia entre electrodos o la heterogeneidad del suelo en las mediciones, además se observa en las distintas gráficas se tiene una correlación de los valores simulados con los datos experimentales lo cual ayuda para verificar la precisión de las mediciones.

En las gráficas de los datos medidos se puede observar que existen valores que se desvían significativamente de la tendencia general en las mediciones, estos valores llamados atípicos se deben al ruido o errores en la medición, sin embargo, se puede efectuar una regresión lineal para calcular la resistencia aparente en función de la distancia entre electrodos.

Estos valores atípicos pueden ser eliminados o corregidos con el propósito de obtener una estimación más precisa de la resistividad o analizar las causas subyacentes de estos valores.

En resumen, la elección del método de Wenner Alpha sobre los otros métodos de medición de resistividad se debe a que los resultados obtenidos fueron más completos en cuanto a precisión ya que también permite detectar cambios en la resistividad en distancias relativamente cortas a lo largo de la línea de perfil. Esto lo hace útil para caracterizar heterogeneidades locales en el suelo o en materiales subterráneos.

Cabe mencionar que es relativamente sencillo de configurar y utilizar. Requiere un conjunto básico de cuatro electrodos y una medición de resistencia eléctrica, lo que lo hace accesible para una variedad de usuarios.

Tabla 14

Tabla Comparativa entre métodos

MÉTODOS PARA CALCULAR LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD							
	<i>Método Wenner Alpha</i>	<i>Método Wenner Beta</i>	<i>Método Wenner Gama</i>	<i>Método Wenner- Schlumberger</i>	<i>Método polo-polo</i>	<i>Método polo-dipolo</i>	<i>Método dipolo-dipolo</i>
Aplicación	Empleado en superficies horizontales y verticales.	Empleado en estructuras geológicas complejas.	Áreas selectas donde su configuración particular de electrodos puede proporcionar datos más precisos o específicos.	Información detallada sobre la resistividad del subsuelo a diferentes profundidades.	Empleado en superficies horizontales y verticales	Empleados en terrenos para obtener datos de resistividad superficial.	Empleados en laderas con inclinaciones y zonas minerales.
Disposición de Electrodo	Cuatro electrodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.	Cuatro electrodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.	Cuatro electrodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.	Cuatro electrodos en línea recta con una separación mayor en los electrodos de suministro.	Dos electrodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.	Tres electrodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.	Cuatro electrodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.
Distancia entre Electrodo	Constante.	Constante.	Constante.	Mayor distancia entre electrodos de suministro con respecto a	Constante.	El electrodo de corriente se distribuye a mayor distancia de	Constante.

				electrodos de caída de tensión.			los electrodos de voltaje.	
Conexión Electrodos- Dispositivo de medición	<ul style="list-style-type: none"> Electrodos Extremos suministro de corriente. Electrodos Internos caída de voltaje. 	<ul style="list-style-type: none"> Dos electrodos consecutivos del extremo son de suministro de corriente. Dos electrodos consecutivos del otro extremo se utilizan para medir el voltaje 	Los electrodos de suministro de corriente se conectan consecutivamente intercalados con los electrodos de caída de tensión.	<ul style="list-style-type: none"> Electrodos Extremos suministro de corriente. Electrodos Internos caída de voltaje. 	<ul style="list-style-type: none"> Un electrodo de suministro de corriente. Un electrodo de caída de voltaje 	<ul style="list-style-type: none"> Un electrodo de suministro de corriente. Dos electrodos de caída de voltaje 	<ul style="list-style-type: none"> Dos Electrodos dipolares suministro de corriente. Dos Electrodos dipolares caída de voltaje. 	
Fórmula de cálculo de resistividad	$\rho = K \times a \times R$	$\rho = 6\pi \times a \times R$	$\rho = 3\pi \times a \times R$	$\rho = \pi R \times L^2 / a$	$\rho = 2\pi \times a \times (\Delta V / I)$	$\rho = 2\pi \times a \times n \times (n+1) (\Delta V / I)$	$\rho = n \times (n+1) \times (n+2) \times \pi \times a (\Delta V / I)$	

Nota. Se refleja la comparación metodológica para la medición de resistividad en el suelo de un área determinada.

Capítulo 3

Protocolo de medición de resistividad del terreno

Este capítulo presenta el protocolo necesario a seguir en las mediciones de la resistividad del terreno, el cual es un parámetro crucial en proyectos de Electricidad, se considera aspectos como el método para llevar a cabo mediciones precisas y confiables mediante la configuración adecuada de los electrodos, la distancia entre ellos y las consideraciones de seguridad.

3.2 Metodología de medición

Para la recopilación de datos y análisis de la información se implementó la metodología mostrada en la figura 14 con los pasos a seguir para la medición de la resistividad del terreno en la Carrera de Electricidad

Figura 49

Flujograma de procesos



Nota. La Figura 34 se visualiza el flujograma de pasos a seguir para el desarrollo del proceso de medición de resistividad del terreno en la Universidad Técnica del Norte.

Selección del sitio de estudio

La selección del sitio de estudio es relevante puesto que mediante este parámetro se puede conocer las propiedades del terreno donde se va a realizar el estudio, indicando sus características, variables y viabilidad, esta sea sustentable o logística.

A continuación, se detalla los pasos a tener en cuenta para el desarrollo de este parámetro:

1. Seleccionar el sitio donde llevar a cabo las mediciones de resistividad del suelo.
Este sitio debe ser representativo de la zona que se desea estudiar y debe contar con las condiciones adecuadas para realizar las mediciones, como una superficie plana y libre de obstáculos.
2. Preparar el equipo necesario para efectuar las mediciones de resistividad del terreno. Este equipo incluye un sistema de electrodos de campo, un multímetro digital y software de procesamiento de datos.
3. Preparar el suelo para asegurar de que las mediciones sean precisas y reproducibles. Esto incluye limpiar la superficie del suelo y aplicarle agua si es necesario para mejorar la conductividad eléctrica.
4. Colocar los electrodos de campo en el suelo, siguiendo las recomendaciones del fabricante del equipo. Es importante que los electrodos estén bien conectados y que se hayan eliminado todas las fuentes de interferencia eléctrica.
5. Realizar las mediciones de resistividad siguiendo las instrucciones del fabricante del equipo, registrar todos los datos relevantes, como la distancia entre los electrodos dependiendo del método a utilizar, energía suministrada, caída de tensión y la temperatura del suelo.

6. Analizar los datos obtenidos para determinar la resistividad del suelo en el sitio de estudio. Este análisis se lo puede realizar mediante tablas estadísticas de Microsoft Excel, con el fin de obtener una base de datos comparativa.
7. Interpretar los resultados de la investigación con el fin de determinar la factibilidad de un sistema de puesta a tierra.

Figura 50

Sitio de estudio



Nota. La zona que se determinara el estudio es fundamental en el aspecto de la medición de resistividad del suelo.

3.3 Condiciones de seguridad y equipo de protección personal

Para garantizar la seguridad durante la medición de resistencia del suelo, es importante tener en cuenta las siguientes condiciones y utilizar el equipo de protección personal adecuado.

3.3.1 Condiciones de seguridad

- No se debe llevar las mediciones si hay riesgo de tormentas eléctricas.
- Es importante no conectar ni exponer los cables de prueba a torres de transmisión

fuera de servicio durante períodos en los que los rayos sean frecuentes.

- Cuando las mediciones no se estén realizando, es fundamental desconectar los cables de prueba del sistema eléctrico y tratarlos como si estuvieran energizados.
- Si se inicia una tormenta eléctrica en la zona de prueba, se debe dar por finalizado todas las mediciones de inmediato y desconectar los cables de prueba instalados temporalmente de los electrodos o malla de tierra.
- No se debe permitir cerrar el circuito entre dos puntos con voltajes peligrosos utilizando las manos. El uso de equipo de protección individual “EPI” como se describe en apartado 3.3.2, puede reducir los riesgos asociados con el manejo de los cables de prueba fuera de la subestación o malla de tierra.
- Antes de aplicar los voltajes de prueba, los cables y electrodos deben estar aislados del equipo de trabajo y del público. Asimismo, deben estar aislados antes de ser conectados al sistema de tierra de la subestación o cualquier otro sistema que pueda transportar corrientes peligrosas en caso de falla.
- Dado que las mediciones son de corta duración, se deben desconectar los electrodos y cables de prueba después de realizarlas.
- Si los electrodos o cables de prueba no están visibles para el personal o están sobre un área accesible al público, es necesario que otra persona los supervise continuamente, comunicándose a través de radio si es necesario, especialmente si los voltajes aplicados superan los 50V. Estos elementos pueden generar voltajes transferidos que excedan ampliamente dicho valor y deben ser monitoreados cuando están conectados a la malla de tierra.

Figura 51

Condiciones de seguridad



Nota. Se visualiza las condiciones meteorológicas que afectan a la medición de la resistividad del suelo.

3.3.2 Equipo de protección individual

El Equipo de Protección Individual “EPI”, es la indumentaria y accesorios que porta el operador antes de realizar un trabajo determinado en electricidad; este actúa cuando las medidas de protección general no aseguran la integridad del mismo; en la rama eléctrica el EPI se compone de los siguientes accesorios:

- Botas de seguridad o calzado resistente al agua para proteger los pies de posibles lesiones o humedad.
- Guantes de protección para evitar cortes, abrasiones o contacto directo con el suelo.
- Gafas de seguridad para proteger los ojos de partículas o salpicaduras de tierra.
- Mascarilla o respirador, dependiendo de las condiciones del suelo, para evitar inhalar polvo u otras sustancias.
- Casco de seguridad para proteger la cabeza de posibles caídas de objetos o golpes.
- Trabajar sobre un material aislante como una manta eléctrica.

- Protector solar y ropa de manga larga para proteger la piel de la exposición directa al sol. En la tabla se ilustra un ejemplo de EPP.

Si el equipo de protección presenta cortes, roturas, orificios o están alterados de alguna forma se recomienda no hacer uso y notificar a la persona encargada.

Figura 52

Equipo de Protección Individual “EPI”



Nota. En la figura 37 se visualiza el equipo de protección personal en torno a electricidad que se debe implementar antes de realizar trabajo con parámetros eléctricos.

3.4 Selección del Equipo de medición

Para la medición de la resistividad del terreno se debe tomar en cuenta las características y especificaciones del equipo, entre las que se puede mencionar:

Telurómetro: Un telurómetro es el instrumento principal utilizado para medir la resistividad del suelo. Al elegir un telurómetro, es importante considerar lo siguiente:

- Rango de medición: Debe ser capaz de medir resistividades del suelo en el rango requerido para tus aplicaciones específicas.
- Precisión: La precisión del telurómetro debe ser suficiente para obtener mediciones confiables y precisas.

- Resolución: Debe tener una resolución adecuada para registrar los cambios de resistividad del suelo de manera precisa.
- Modos de operación: Algunos telurómetros ofrecen diferentes modos de operación, como mediciones manuales o automáticas, lo cual puede ser útil según las necesidades.

Electrodos: Para el método de Wenner a utilizarse, se requieren cuatro electrodos para la medición. Al seleccionar los electrodos se considera lo siguiente:

- Tamaño y longitud: Los electrodos deben tener un tamaño y longitud adecuados para garantizar un buen contacto con el suelo.
- Material: Los electrodos deben estar hechos de un material conductor adecuado, como acero inoxidable, para minimizar la resistencia de contacto.

Cables de conexión: Para los cables de conexión de los electrodos al telurómetro se debe hacer las siguientes consideraciones:

- Longitud: Asegurarse de tener cables lo suficientemente largos para abarcar la distancia necesaria entre los electrodos.
- Calibre: Elegir cables con un calibre adecuado para minimizar la resistencia y pérdidas de señal.

Es importante consultar las especificaciones técnicas y recomendaciones del fabricante del telurómetro y los accesorios correspondientes para garantizar una selección adecuada del equipo de medición. También hay que tomar en cuenta las normas y regulaciones locales aplicables a la medición de resistividad del suelo.

Figura 53

Equipo de Medición



Nota. Se refleja en la presente figura el equipo de medición de marca DUOYI, el cual es un téster de medición de resistividad del suelo.

3.5 Preparación y calibración de los instrumentos

La preparación y calibración de los instrumentos DY4300 de la marca DUOYI requiere seguir algunos pasos específicos. A continuación, se describe un procedimiento general que puedes seguir:

1. Verificación inicial:

- Antes de usar el instrumento, verificar que esté en buen estado y no presente daños físicos.
- Asegurar de que la batería esté cargada o utiliza una fuente de alimentación adecuada.
- Verificar que todos los cables y accesorios necesarios estén presentes y en buenas condiciones.

2. Lectura del manual de usuario:

- Leer atentamente el manual de usuario proporcionado por el fabricante.

- Familiarizarse con las funciones, características y procedimientos específicos del instrumento DY4300.

3. Calibración:

- Si es necesario, realizar una calibración inicial del instrumento siguiendo las instrucciones del fabricante.
- Utilizar equipos de calibración y estándares confiables y certificados.

4. Preparación de los electrodos:

- Verificar que los electrodos estén limpios y en buenas condiciones.
- Asegurar de que los cables de conexión estén correctamente conectados a los electrodos.

5. Configuración del instrumento:

- Encender el instrumento y asegurarse de que esté en el modo de medición de resistividad del suelo.
- Ajustar las configuraciones necesarias, como el rango de medición y la unidad de medida.

6. Ubicación de los electrodos:

- Determinar la ubicación y el espaciado adecuado de los electrodos según el método de Wenner.
- Colocar los electrodos en el suelo de manera que estén alineados en línea recta y con una distancia adecuada entre ellos.

7. Realización de las mediciones:

- Seguir las instrucciones específicas del instrumento DY4300 para realizar las mediciones de resistividad del suelo.
- Seguir los procedimientos de medición correctamente para obtener resultados precisos.

Cabe recordar que estos pasos son generales y es fundamental consultar el manual de usuario y las especificaciones del instrumento DY4300 de DUOYI para obtener instrucciones precisas y detalladas sobre su preparación y calibración.

Figura 54

Calibración de Instrumentos



Nota. Se visualiza en la figura la calibración de los instrumentos de medición para el cálculo de la resistividad del suelo.

3.6 Preparación del suelo

A continuación, se describen los pasos clave para la preparación del suelo antes de la medición de resistividad:

1. Limpieza del área de prueba:

- Asegurarse de que el área esté libre de escombros, vegetación o cualquier objeto que pueda interferir con la medición.
- Retirar cualquier material conductor, como metales, cables o tuberías enterradas en la zona de medición.

2. Eliminación de la capa superficial:

- Remover la capa superficial del suelo, que puede contener una alta concentración de materia orgánica, humedad o contaminantes, los cuales pueden afectar la medición de resistividad.
- Utilizar una pala, una herramienta de excavación o un equipo adecuado para retirar la capa superficial hasta llegar a un suelo más consistente y uniforme.

3. Nivelación del terreno:

- Nivelar cuidadosamente el terreno para garantizar que los electrodos se coloquen en una línea recta y a una distancia uniforme.
- Asegurarse de que la superficie del suelo esté plana y libre de desniveles o irregularidades que puedan afectar las mediciones.

4. Colocación de los electrodos:

- Seguir el método de Wenner u otro método específico de colocación de electrodos según el protocolo de medición.
- Insertar los electrodos en el suelo de manera vertical y asegúrate de que estén completamente enterrados para obtener un buen contacto con el suelo.

5. Distancia entre electrodos:

- Determinar la distancia adecuada entre los electrodos según el rango de resistividad que se desea medir.
- Asegurarse de que la distancia entre los electrodos sea constante y cumpla con las especificaciones del método de medición utilizado.

Figura 55

Preparación del suelo



Nota. En la figura 40 se visualiza la preparación de la zona a estudiar dentro de la Universidad Técnica del Norte.

3.7 Normativa de medición

La normativa que se va a utilizar es la IEEE STD 81-1983 "Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System": Esta normativa proporciona directrices detalladas para la medición de la resistividad del suelo utilizando el método de Wenner. Algunos aspectos importantes abordados por esta normativa son los siguientes:

- La normativa describe en detalle el método de Wenner para la medición de resistividad del suelo.
- Destaca la importancia de preparar adecuadamente el suelo antes de realizar las mediciones.
- Proporciona recomendaciones sobre el equipo necesario para llevar a cabo las mediciones, como telurómetro y cables de conexión. También se menciona la importancia de calibrar y verificar regularmente el equipo para garantizar mediciones precisas.
- Describe el procedimiento paso a paso para realizar las mediciones de resistividad

utilizando el método de Wenner. Esto incluye la colocación adecuada de los electrodos, la aplicación de corriente a través de los electrodos y la medición de la caída de voltaje resultante.

- Proporciona fórmulas y métodos para calcular la resistividad del suelo a partir de los datos de medición. También se ofrecen pautas para la interpretación de los resultados y su aplicación en el diseño de sistemas de puesta a tierra.

3.8 Procedimiento de medición

3.8.1 Selección de los puntos de muestreo

Determinar los puntos de muestreo en el área de interés, teniendo en cuenta la distribución geográfica deseada de las mediciones. Los puntos de muestreo deben estar lo suficientemente espaciados para proporcionar una representación adecuada de la resistividad del suelo en el área; por lo tanto, según la metodología seleccionada para determinar valores y ser interpretados a priori se factibiliza la distancia, corriente y voltaje que se desea suministrar y captar en los referidos puntos.

Figura 56

Puntos de muestreo en zona geográfica



Nota. En la presente Figura se muestra la determinación de puntos estratégicos para la toma de muestras y cálculo de resistividad del suelo.

3.8.2 Colocación de los electrodos en el suelo

La colocación de los electrodos es un procedimiento fundamental para la captación de valores y registrarlos posteriormente para un análisis y comparativo entre métodos, por lo que se determina los siguientes pasos a seguir en la colocación de dichos electrodos.

- Excavar agujeros en cada punto de muestreo para colocar los electrodos del telurómetro.
- Asegurarse de que los electrodos estén completamente enterrados en el suelo y estén colocados en línea recta con una distancia equidistante entre ellos.

Figura 57

Colocación de electrodos en suelo



Nota. Tal y como se muestra en la Figura 42 la colocación de electrodos sobre el suelo permite la captación de datos específicos en el desarrollo del estudio.

3.8.3 Medición de Resistividad

La medición de la resistencia del suelo se realizó utilizando el método de las cuatro picas, con el equipo Telurómetro DY 430; por lo tanto, para el cálculo de la resistividad

del suelo se implementó la metodología recomendada por la norma IEEE 80-2000, la cual evidencia que el valor de diseño de la resistividad del terreno se obtuvo como resultado X valorado en su unidad de medida de ohmios por metro ($\Omega\text{-m}$).

Si los valores son muy bajos corresponde a la tipología de suelo que en este caso puede ser por presencia de humedad o porque es el suelo orgánico; mientras que si los valores varían hasta los 200 $\Omega\text{-m}$.; el causante suele ser la resequedad del terreno al estar muchos días sin llover, por lo general más de treinta días; a continuación, se evidencia los pasos a seguir para este procedimiento:

- Conectar los cables del telurómetro a los electrodos correspondientes según el esquema de conexión adecuado.
- Aplicar una corriente conocida a través de los electrodos y registre la caída de voltaje resultante.
- Realizar varias mediciones en diferentes puntos de muestreo para obtener una muestra representativa de la resistividad del suelo en el área.

Figura 58

Medición de resistividad



Nota. En la figura 43 se refleja el procedimiento de medición de resistividad sobre un determinado sector del terreno con el método empleado necesario para recolección de datos.

3.8.4 Medición de resistividad sobre suelo pavimentado o concreto

En superficies de terreno pavimentados o de concreto, donde no se pueda realizar las mediciones simplemente con electrodos, se debe tener cuidado de que no existan elementos metálicos enterrados, así mismo hay que cambiar los electrodos tipo varilla por placas de cobre que realizan la misma función que los electrodos auxiliares, además hay que remojar con agua los puntos donde se ubican dichas placas, teniendo cuidado de que no se interconecten las partes húmedas. En la Figura 13 se ilustra un ejemplo de conexión.

Figura 59

Medida de resistividad sobre concreto



Nota. Se visualiza la conexión para medir la resistividad del suelo sobre pavimento o concreto.

A continuación, se visualiza los pasos a seguir para efectuar la medición:

- Colocar las placas de cobre a una distancia equivalente a la que se utilizaría para los electrodos auxiliares según el método de Wenner mencionado anteriormente.
- Asegurar de que las dimensiones de las placas sean de 30x30 cm y tengan un espesor

de 3.8 cm.

- Verter agua sobre las placas y humedecer el área donde se ubicarán las placas.
- Permitir que el agua penetre y se estabilice la lectura de resistencia. El tiempo necesario para que la humedad se infiltre puede variar según el espesor y la permeabilidad de la capa del pavimento. Por lo general, se recomienda esperar al menos 30 minutos para que el proceso de penetración de la humedad sea suficiente.

En el estudio de este proyecto se recomienda la utilización de la técnica de electrodo por placa metálica, debido a la eficiencia en recolección de datos para el cálculo de la resistividad en comparación de la técnica con franela húmeda.

3.8.5 Medición de la temperatura y salinidad del suelo

Es esencial y vital para el desarrollo de una investigación, considerar los parámetros del suelo, como su estado de humedad, salinidad, contextura, tipología del suelo y la determinación del método a seguir con el fin de obtener datos seguros y eficientes.

- Utilice electrodos de temperatura y conductividad adecuados para medir la temperatura y la salinidad del suelo en cada punto de muestreo.
- Inserte los electrodos en el suelo a una profundidad adecuada y registre las lecturas correspondientes.
- Estos datos pueden ser útiles para tener en cuenta los efectos de la temperatura y la salinidad en las mediciones de resistividad.

Figura 60

Medición de Temperatura y salinidad del suelo.



Nota. En la presente figura se visualiza la captación magnitudes físicas como la temperatura y salinidad del suelo a medir la resistividad.

3.9 Análisis de los resultados

El manual de protocolos de medición en base a un estudio comparativo de los métodos para el cálculo de la resistividad del terreno se detalla en el apartado de anexos, específicamente en el **Anexo A**; el cual faculta a los usuarios los lineamientos y procedimientos técnicos y de seguridad al momento de realizar una medición de resistividad del suelo.

Por lo tanto, los resultados de elaborar un manual de protocolo de medición de la resistividad del suelo, factibiliza al operar, o interesado en la temática establecida, conocer los procedimientos técnicos para ejecutar la medición y posterior cálculo de la resistividad del terreno donde se colocará un sistema de puesta a tierra seguro y confiable; además de brindar los lineamientos de seguridad para realizar una práctica segura, sin incidentes o accidentes por mala ejecución.

Conclusiones

Esta investigación ha identificado y detallado diversos métodos para la determinación de la resistividad del terreno, como el método de Wenner y el método de Schlumberger, entre otros, destacando sus características, ventajas y limitaciones. Paralelamente, se ha realizado un examen exhaustivo de la Normativa Ecuatoriana de Construcción en lo que respecta a las puestas a tierra en el servicio eléctrico. Este análisis ha permitido comprender cómo estas normativas influyen en la selección y aplicación de los métodos de resistividad, garantizando que las instalaciones eléctricas cumplan con los estándares de seguridad y eficiencia requeridos en Ecuador.

Tras realizar un análisis comparativo exhaustivo basado en simulaciones, se ha determinado que el método Wenner-Alpha es superior en varios aspectos clave en comparación con otros métodos de medición de resistividad del terreno. Este estudio ha mostrado que, mientras otros métodos como el Schlumberger y el método de dipolo-dipolo ofrecen ciertas ventajas en escenarios específicos, el Wenner-Alpha sobresale por su equilibrio entre exactitud, costo y facilidad de implementación. Por ejemplo, en comparación con el método Schlumberger, el Wenner-Alpha demostró una mayor consistencia en la precisión de los resultados en una variedad más amplia de tipos de suelo, además de requerir un menor despliegue de equipo en el campo. Asimismo, frente al método de dipolo-dipolo, el Wenner-Alpha resultó ser más eficiente en términos de tiempo y recursos, ofreciendo una mayor fiabilidad en condiciones de terreno heterogéneas. Estos hallazgos justifican la selección del método Wenner-Alpha como la opción más adecuada para medir la resistividad del suelo, especialmente en aplicaciones que requieren un equilibrio entre precisión, eficiencia y coste operativo, enriqueciendo así la práctica de la ingeniería geotécnica y eléctrica.

Esta investigación ha identificado y detallado diversos métodos para la determinación de la resistividad del terreno, como el método de Wenner y el método de Schlumberger, entre otros, destacando sus características, ventajas y limitaciones. Paralelamente, se ha realizado un examen exhaustivo de la Normativa Ecuatoriana de Construcción en lo que respecta a las puestas a tierra en el servicio eléctrico. Este análisis ha permitido comprender cómo estas normativas influyen en la selección y aplicación de los métodos de resistividad, garantizando que las instalaciones eléctricas cumplan con los estándares de seguridad y eficiencia requeridos en Ecuador.

Recomendaciones

Dependiendo de factores como precisión, presupuesto y facilidad de empleo se podrían combinar métodos con la finalidad de realzar los valores de obtención de datos en la toma de pruebas de resistividad del suelo, lo que viabilizara a un circuito de puesta a tierra de un sistema eléctrico seguro.

Al realizar un nuevo estudio se debe considerar los factores climatológicos adversos, los cuales facultan a datos erróneos al tomar mediciones de resistividad del suelo, además de recomendar la utilización de una memoria técnica del lugar en estudio, puesto que esto facultara realizar un análisis comparativo con vista a una evaluación del impacto en los resultados.

Referencias Bibliográficas

- Basante, V. (2019). dspace. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18119/1/UPS%20-%20ST004379.pdf>
- Briceño, J. (2015). Manual para la medición de la resistividad del suelo. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/271074412_MANUAL_PARA_LA_MEDICION_DE_RESISTIVIDAD_DEL_SUELO
- Briz, J. (2021). <https://kelvinpoint.com/articulos/riesgos-en-una-instalacion-electrica>. Obtenido de <https://kelvinpoint.com/articulos/riesgos-en-una-instalacion-electrica>
- Casas, F. (2010). *Tierras Soporte de la seguridad eléctrica* (Quinta ed.). (S. E. Ltda., Ed.) Bogotá D.C: icontec. Obtenido de <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-nacional-de-asuncion/instalaciones-electricas/tierras-soporte-de-la-seguridad-electrica-favio-casas-ospina/9446747>
- CHAUVIN ARNOUX. (2015). *Guías de la medición de tierras* (Segunda ed.). España: Iberica, S.A. Obtenido de https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/cat_guia_de_medicion_de_tierra_ed2.pdf
- Coronel, G., & Sinchi, F. (2021). *Diseño y evaluación de configuraciones de puesta a tierra en diferentes tipos de suelo empleando materiales de baja resistividad*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20439>
- FLUKE. (s. f.). *Comprobación de la impedancia del electrodo de conexión a tierra en edificios comerciales, industriales y residenciales*. Obtenido de <https://www.fluke.com/es-ec/informacion/blog/electrica/comprobacion-de-la-impedancia-del-electrodo-de-conexion-a-tierra-en-edificios-comerciales-industriales-y-residenciales#:~:text=La%20impedancia%20desde%20el%20electrodo,su%20capacidad%20para%20conducir>
- IEI05. (s. f.). *Montaje de las puestas a tierra*. Recuperado el 20 de Abril de 2023, de https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI05/es_IEA_IEI05_Contenidos/web_site_index.html#

- Lavalle, C. (15 de Junio de 2021). *Estudio comparativo de métodos de medición de la resistividad del terreno y propuesta de protocolo de medición*. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4987>
- Live, S. (2023). Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24658/1/TTS1287.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (febrero de 2018). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/>. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>
- Mirko, Y. (2006). *Diseño de Redes de Puesta a Tierra en Subestaciones de corriente Alterna*. Obtenido de <https://1library.co/document/z3dwn8y-diseno-redes-puesta-tierra-subestaciones-corriente-alterna.html>
- Pacheco, A., & Jiménez, J. (2013). *dspace*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4104/1/UPS-CT002589.pdf>
- Perfil, V. (13 de noviembre de 2016). *Ingeniería Eléctrica*. Obtenido de <http://ingenieriaelectromecanica-rfzm.blogspot.com/2016/11/esquemas-de-conexion-tierra-regimen-de.html>
- PROCOBRE. (s. f.). *Sistemas de Puesta a Tierra*. Obtenido de <https://analfatecnicos.net/archivos/08.PuestaATierra.pdf>
- QQueshuayllo, C., & Wilbert, R. (2005). *Diseño y ejecución de una puesta a tierra de baja resistencia*. Obtenido de https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/qqueshuayllo_cw/cap2.PDF
- Ruelas, R. (s. f.). *Teoria y Diseño de Sistemas de Tierra*. Obtenido de <https://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html>
- Sanchez, F. A. (5 de diciembre de 2014). *Conexión a Tierra y unión equipotencial*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos-pdf5/conexion-tierra-y-union-equipotencial/conexion-tierra-y-union-equipotencial>
- Santiago, A. G. (2014). *Biblioteca Universidad Carlos III de Madrid*. Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/22819>
- Z. G. Datsios, P. M. (2017). *Laboratory characterization and modeling of dc electrical resistivity of sandy soil with variable water resistivity and content* (5 ed., Vol. 24). Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8120365>

Anexos

Anexo 1

Manual de protocolo de medición en base a un estudio comparativo de los métodos para el cálculo de la resistividad del terreno.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad De Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Carrera de Electricidad

PROTOCOLO DE MEDICIÓN EN BASE A UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la obtención del título de Ingeniero en Electricidad

Autor:

Vallejos Cadena, Jordan Alexander

Tutor:

MSc. Ramiro Vásquez

Ibarra – Ecuador

2023

Objetivo

Establecer un documento de protocolo de medición en base a un estudio comparativo de los métodos para el cálculo de la reactividad del terreno en la Universidad técnica del Norte.

Introducción

Describir la medición de la resistividad del terreno es fundamental para el diseño y la seguridad de una instalación eléctrica. Puesto que, en la Universidad técnica del Norte, la evaluación y selección de muchos métodos para calcular la resistividad son aspectos esenciales con el fin de mejorar la eficiencia y también la seguridad de las infraestructuras eléctricas dentro de la institución.

Los protocolos para la medición de la resistividad se enfocan en llevar a cabo un estudio en el cual se pueda realizar una comparación de diversos métodos con el fin de calcular la totalidad de resistividad del terreno; además de ser apoyado y ser en referencia el reglamento técnico de instalaciones eléctricas que rigen en la República del Ecuador; puesto que, dicha legislatura establece estándares de riguroso diseño y mantenimiento; por lo tanto, este documento nos brindara las directrices necesarias para garantizar la seguridad de estabilidad y eficiencia en las instalaciones eléctricas de la Universidad Técnica del Norte.

Como propósito principal, este protocolo de procedimientos faculta el análisis y el contraste de diferentes metodologías de cálculo de resistividad de un terreno; para lo cual se evalúa su precisión, aplicabilidad y adecuación conjuntamente apoyado en las normativas vigentes establecidas con el fin de establecer los procedimientos y lineamientos adecuados a seguir al momento de realizar cualquier tipo de mediciones y satisfacer las necesidades de la de la institución.

*PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA
MEDICIÓN*

Para medir la resistividad del terreno utilizando un telurómetro, es importante seguir un procedimiento detallado que incluya el uso de equipos de protección, la revisión de las condiciones climáticas, la operación del telurómetro, la realización de simulaciones en software y el análisis de resultados. A continuación, te describo cada paso de este proceso:

1. Preparación y Equipos de Protección

Revisar Equipos de Protección Personal (EPP):

Guantes Aislantes: Esenciales para proteger tus manos de posibles descargas eléctricas o cortes. Los guantes aislantes deben ser adecuados para el nivel de tensión con el que se trabaja.

Zapatos Dieléctricos: Diseñados para aislar tus pies de la tierra y prevenir la conducción de corriente eléctrica a través del cuerpo, una medida crucial para evitar electrocuciones.

Gafas de Protección: Protegen tus ojos de posibles esquirlas o partículas que puedan surgir al clavar los electrodos o por efecto del viento y el polvo.

Casco: Fundamental para proteger la cabeza de posibles impactos, ya sea por objetos que caen o al trabajar en ambientes con riesgo de golpes.

Herramientas y Materiales:

Telurómetro: Instrumento utilizado para medir la resistividad del suelo. Es importante conocer bien su funcionamiento y especificaciones.

Electrodos: Piezas conductoras que se insertan en el terreno para realizar las mediciones.

Es crucial que estén en buen estado y sean del tipo adecuado para la medición que se va a realizar.

Cables de Conexión: Estos cables conectan los electrodos con el telurómetro. Deben ser lo suficientemente largos para cubrir el área de medición y estar en buenas condiciones para garantizar la precisión de las mediciones.

Martillo de Goma: Utilizado para clavar los electrodos en el terreno sin dañar su recubrimiento. Un martillo de goma ayuda a minimizar el riesgo de dañar los electrodos y garantiza una inserción adecuada en el suelo.

Flexómetro: Herramienta para medir la distancia entre los electrodos. La precisión en la colocación de los electrodos es clave para obtener mediciones correctas, por lo que un flexómetro confiable es imprescindible.

Importancia de la Preparación y Protección

La preparación adecuada y el uso correcto de los equipos de protección son fundamentales para garantizar la seguridad durante la medición de resistividad del terreno. No solo protegen al operador de posibles riesgos eléctricos y físicos, sino que también contribuyen a la precisión y fiabilidad de los datos recogidos. El conocimiento y manejo correcto de las herramientas y materiales es igualmente importante para garantizar la validez de los resultados de las mediciones.

2. Revisión de las Condiciones Climáticas

Clima Adecuado: Influencia de la Humedad en la Resistividad del Terreno: La humedad en el suelo conduce la electricidad más fácilmente que un suelo seco, lo que puede resultar en mediciones de resistividad más bajas de lo habitual. Por eso, para obtener mediciones precisas, es preferible un entorno seco.

Evitar Días de Lluvia o Alta Humedad Ambiental: Durante o después de la lluvia, el agua se infiltra en el suelo, alterando su resistencia eléctrica natural. Además, la humedad ambiental elevada puede afectar el funcionamiento del telurómetro y otros equipos electrónicos.

Planificación Según el Clima: Es recomendable revisar el pronóstico del tiempo antes de planificar las mediciones y elegir un día que se espera que sea seco.

Inspección del Terreno

Elección de un Área Representativa: La ubicación elegida para realizar las mediciones debe reflejar las características generales del área más amplia que se está estudiando. Esto es crucial para que los resultados sean aplicables a todo el terreno de interés.

Evitar Interferencias Eléctricas: Las interferencias eléctricas pueden provenir de líneas de energía aéreas, subestaciones eléctricas cercanas, o incluso de equipos electrónicos en operación en las proximidades. Estas fuentes pueden introducir señales eléctricas que distorsionan las mediciones.

Distancia de Estructuras Metálicas: Las estructuras metálicas pueden actuar como conductores o reflectores de campos eléctricos, alterando las mediciones de resistividad del terreno. Esto incluye edificaciones, cercas metálicas, tuberías subterráneas y otros elementos similares.

Consideraciones Adicionales sobre el Terreno: Además de evitar interferencias eléctricas y estructuras metálicas, es importante considerar otros factores como la topografía del terreno, la presencia de vegetación y la accesibilidad del área para la colocación de los electrodos y el manejo del equipo.

3. Procedimiento de Uso del Telurómetro

Configuración del Instrumento

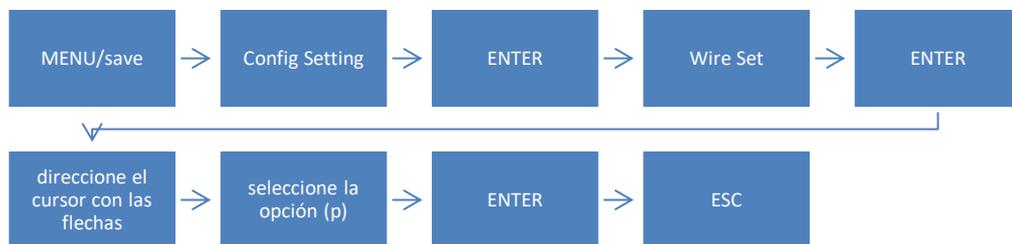
Encendido y Preparación Inicial: Al encender el telurómetro, es posible que se requiera realizar una serie de configuraciones iniciales. Estas pueden incluir la selección del idioma, la configuración de fecha y hora, y posiblemente un autodiagnóstico del equipo.

Ajustes de Rango y Tipo de Medición: Dependiendo del modelo del telurómetro, podrás elegir entre diferentes rangos de medición y tipos de pruebas (como resistividad o resistencia de tierra). La elección correcta depende del propósito de la medición y de las características del terreno.

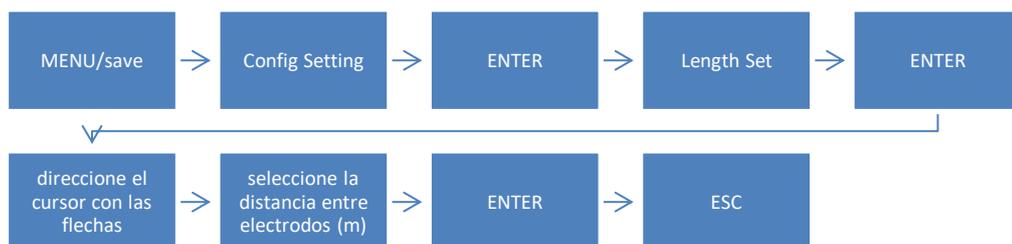
Instrucciones Específicas del Fabricante: Cada modelo de telurómetro puede tener características y opciones únicas. Es esencial consultar y seguir las instrucciones específicas proporcionadas por el fabricante para asegurar la correcta configuración y uso del equipo.

4. Configuración telurómetro

1. Para encender el telurómetro se ajusta la perilla al rango de medición que se acomode a los requerimientos del usuario. Pueden ser a 2 Ω , 20 Ω , 200 Ω , 2000 Ω , 20k Ω .
2. El telurómetro ya encendido se ajusta el intervalo entre los electrodos en este caso la resistividad del terreno (p, 2, 3, 4) según lo que se necesite medir. A continuación, el proceso a seguir en el equipo:



3. Seleccionar MENU con la tecla del cursor en la pantalla configuración y ajuste, y pulse la tecla ENTER / guardar para mostrar la pantalla de ajuste de longitud. Seleccione cualquier cifra que quiera cambiar con la tecla del cursor, y pulse la



tecla ENTER / guardar. A continuación, los dígitos seleccionados se resaltan y listo para ser cambiados.

Pulse la tecla superior del cursor > para aumentar el número y la tecla de flecha abajo < para reducir los números. Mantenga presionado la tecla de cursor hacia abajo para cambiar los números rápidamente. Pulse el botón ENTER / guardar para confirmar un número.

Repita este procedimiento para cambiar los otros dígitos. Oprima la tecla ESC cuando se hacen ajustes. A continuación, se mostrará la pantalla configuración y ajuste con un nuevo intervalo.

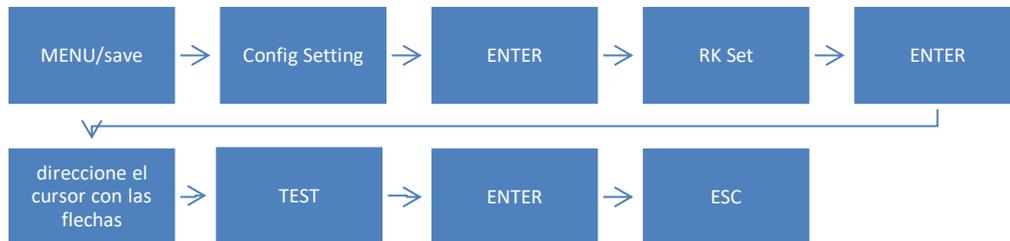
- Nota) Intervalos van a ajustarse dentro de un rango de 1.0 a 30.0m. Si se introduce un intervalo más largo fuera de este rango en la pantalla de ajuste, se cambia automáticamente a 30.0m al pulsar la tecla ENTER / guardar.

 - Nota) Los intervalos de hasta 20 metros se pueden seleccionar con los cables de prueba suministrados.

 - Nota) el segundo no se visualiza en la pantalla principal; sólo se muestran las horas y minutos.

 - Nota) la batería de reserva puede agotarse cuando el reloj se vuelve incorrecta después de encender / apagar el instrumento. En este caso, por favor, póngase en contacto con nuestro distribuidor local. La vida útil de la batería de reserva es de aprox. 5 años.
4. para la resistencia residual (R_k) sobre los cables de prueba.

Este instrumento puede almacenar la resistencia residual (Rk) de los cables de prueba antes de comenzar las mediciones en el sistema de Re 2/3/4 hilos, y se puede deducir



la resistencia del resultado de la medición. El ajuste de Rk se puede hacer de procedimiento siguiente.

- Nota) Conexiones de cables de prueba varían según los métodos de medición. Consulte las páginas correspondientes para obtener más detalles.
 - Nota) Rk no puede ser salvado, mientras que la marca BATT o BATT error de batería baja se visualiza en la pantalla LCD.
1. Presione el botón de prueba para medir Rk. Los resultados de las mediciones no se guardarán hasta que se pulse el botón ENTER /guardar. La pantalla configuración y ajuste aparece cuando se presiona el botón y se guardan los datos.
 2. El valor Rk se mantiene incluso de apagar el instrumento. Para borrar los valores Rk guardados, seleccione Borrar en el Rk pantalla de ajuste y pulse el botón ENTER / Guardar clave. Entonces, el valor restaura a 0.000Ω

- Nota) Los valores superiores a Rk siguientes valores no se pueden guardar. .

5. Luz De Fondo

Para facilitar el trabajo en situaciones de poca luz o de noche, se proporciona una función de luz de fondo que ilumina la pantalla LCD. Pulse para utilizar esta función. La luz de fondo se iluminará durante unos 30 segundos y se apagará automáticamente. Si se pulsa la tecla de la luz está encendida puede apagarlo por el manual.

6. Apagado automático

Este instrumento es alimentado automáticamente sobre 5 min después de la última operación del interruptor. Para salir del modo de auto-apagado, el interruptor de alcance a la posición apagado una vez, y volver a configurarlo la distancia a la que una medición se lleve a cabo.

7. Series Interferencia de tensión (tensión de tierra) de medición

La medición se inicia automáticamente durante una medición de resistencias de tierra y resistividad de la tierra, y los resultados se pueden consultar en la pantalla de visualización del resultado.

¡Mensaje de advertencia de alto voltaje! Se visualiza en la pantalla principal cuando la tensión de tierra (UST) es alta.

Gama $2\Omega / 20\Omega$: ¡advertencia de alto voltaje! aparece cuando el voltaje es de 12 V o superior. Medición de resistencia de tierra no se puede hacer cuando el voltaje excede 15V.

Gama $2\Omega / 20\Omega$: ¡advertencia de alto voltaje! aparece cuando el voltaje es de 15 V o superior. Medición de la resistencia de tierra no se puede realizar el voltaje excede 20V.

Nota) DC tensiones parásitas de serie no se pueden medir.

8. Medición de resistencia de tierra auxiliar

Este instrumento puede medir y mostrar las resistencias de tierra auxiliares (Rh, Rs). Cuando el valor de Rh es más que el valor regulado o 50W, un mensaje de advertencia Rh> límite o Rs> límite aparecen. La pantalla LCD muestra Rh = OL Ω o Rs = OL, cuando el Rh o RS valores superan 50k Ω . Estos parámetros se miden de forma automática en las mediciones de resistencia de tierra auxiliares, y se puede comprobar en la pantalla de resultados de visualización.

Nota) R_h y R_s representan auxiliar polo de tierra H (C) y la resistencia de tierra auxiliar de S (P), respectivamente.

9. Conexión de los cables de prueba de tierra y sondas de medición simplificados

Conecte los cables de prueba de tierra y sondas de medición simplificadas a los conectores en el instrumento con firmeza. De lo contrario, se produce un fallo de contacto y resultados erróneos puede leerse en la pantalla LCD.

Nota) algunos números distintos de OL se pueden mostrar en la pantalla LCD mientras realiza mediciones sin necesidad de conectar ningún cable o sonda a 200 ohms o superiores rangos. Esto no es un fallo de funcionamiento.

5. Instalación de los Electroodos

Formación de la Línea Recta: La alineación y distribución de los electrodos deben ser precisas. La formación de una línea recta es crucial, especialmente en métodos como el de Wenner, donde la equidistancia entre los electrodos es fundamental.

Determinación de la Separación Adecuada: La separación entre los electrodos varía según el método de medición y las características del terreno. Por ejemplo, para estudios a mayor profundidad, se requiere una separación mayor entre los electrodos.

Inserción Cuidadosa en el Suelo: Los electrodos deben ser insertados en el suelo a una profundidad suficiente para asegurar un buen contacto eléctrico, pero sin dañarlos. La verticalidad y estabilidad de los electrodos también son importantes.

Conexión de Cables

Métodos de Conexión: El más común es el método de cuatro puntos, como el método de Wenner o el método de Schlumberger. Cada uno tiene un esquema específico de conexión de cables al telurómetro y a los electrodos.

Verificación de Conexiones Seguras: Es crucial asegurarse de que todas las conexiones estén seguras y libres de daños o corrosión. Una mala conexión puede resultar en mediciones incorrectas.

Realización de las Mediciones

Proceso de Medición: Una vez configurado el telurómetro y conectados los electrodos, se procede con la medición siguiendo las instrucciones específicas del equipo. Esto puede incluir presionar un botón para iniciar la medición y esperar a que el equipo procese y muestre los resultados.

Consistencia y Repetición: Para garantizar la fiabilidad de los datos, es recomendable tomar varias mediciones en cada configuración de electrodos. Esto ayuda a identificar anomalías o errores en las mediciones.

Registro y Anotación de Datos: Cada medición debe ser registrada cuidadosamente, anotando detalles como la hora, las condiciones climáticas, y la configuración específica de los electrodos. Estas notas serán útiles para el análisis posterior de los datos.

Consideraciones Adicionales

Mantenimiento del Equipo: Antes y después de cada uso, es recomendable revisar y mantener el telurómetro y los electrodos, limpiándolos y asegurándose de que estén en buen estado.

Entrenamiento y Conocimiento: La precisión en el uso del telurómetro depende en gran medida del conocimiento y habilidad del operador. Una formación adecuada es esencial para realizar mediciones precisas y fiables.

El procedimiento de uso del telurómetro es un proceso detallado que requiere atención en la configuración del equipo, la instalación correcta de los electrodos, y la realización precisa de las mediciones. Seguir estos pasos con cuidado asegura la obtención de datos fiables y útiles para el análisis de la resistividad del terreno.

Procedimiento de Uso del Telurómetro (Toma de Datos)

Después de haber configurado el instrumento, instalado los electrodos y conectado los cables, sigue estos pasos para la toma de datos:

Inicio de la Medición: Activa la función de medición en el telurómetro.

Asegúrate de que el equipo esté en el modo correcto para el tipo de medición que estás realizando, por ejemplo, método de Wenner.

Registro de Valores: Observa la pantalla del telurómetro mientras realiza la medición.

Espera hasta que el valor se estabilice, lo que puede tardar unos segundos. Registra el valor mostrado. Este valor es la resistividad aparente del terreno en esa configuración específica de los electrodos.

Repeticón de Mediciones: Repite el proceso varias veces para asegurar la consistencia de los datos. Puede ser útil cambiar la separación entre los electrodos y realizar una nueva serie de mediciones para obtener datos en diferentes profundidades.

Notas Adicionales: Toma nota de cualquier condición especial o anomalía que observes durante la medición, como variaciones inesperadas en los valores de resistividad o interferencias potenciales.

Finalización de la Toma de Datos: Una vez que hayas recopilado suficientes datos, apaga el telurómetro y procede a desconectar y recoger los equipos.

Consideraciones Durante la Toma de Datos

La toma de datos en las mediciones de resistividad del terreno es un proceso donde la atención al detalle es fundamental. A continuación, te explico más a fondo cada una de las consideraciones clave:

Consistencia

Metodología Uniforme: Utiliza el mismo método y procedimiento en cada punto de medición. Esto incluye mantener la misma configuración del telurómetro, la misma distancia entre electrodos, y el mismo procedimiento de inserción y conexión.

Control de Variables: Asegúrate de que las condiciones bajo las cuales se realizan las mediciones sean lo más uniformes posible. Esto incluye realizar las mediciones en momentos similares del día o en condiciones climáticas parecidas, para reducir la variabilidad debida a factores externos.

Repetición de Mediciones: Realiza varias mediciones en cada punto para confirmar la consistencia de los resultados. Si los resultados varían significativamente, investiga y resuelve posibles problemas antes de continuar.

Interferencias

Identificación de Fuentes de Interferencia: Estas pueden incluir líneas eléctricas, estructuras metálicas cercanas, maquinaria en operación, o incluso dispositivos electrónicos portátiles. Mantente alerta a estos elementos y, si es posible, realiza las mediciones lejos de ellos.

Momentos de Alto Ruido Eléctrico: Evita realizar mediciones en momentos donde se espera alto ruido eléctrico, como durante tormentas eléctricas o en horarios de alta actividad industrial.

Uso de Equipos de Filtrado: Algunos telurómetros avanzados tienen funciones de filtrado para minimizar el efecto de las interferencias. Asegúrate de activar y configurar correctamente estas funciones si están disponibles.

Documentación

Registro Detallado: Anota no solo los valores medidos, sino también detalles como la fecha, la hora, la configuración específica de los electrodos, el modelo y configuración del telurómetro, y las condiciones climáticas.

Notas sobre Condiciones y Anomalías: Si observas algo inusual en el terreno o en las condiciones ambientales, anótalo. Esto puede incluir variaciones en la textura o humedad del suelo, la presencia de vegetación, o cambios repentinos en el clima.

Organización de los Datos: Mantén los datos organizados de manera que sea fácil correlacionarlos con otros datos de campo o con análisis posteriores. Esto puede incluir la utilización de hojas de cálculo o bases de datos.

La precisión y fiabilidad de los datos recogidos durante la medición de resistividad del terreno son esenciales para una interpretación y análisis posteriores efectivos. Mantener la consistencia en la metodología, estar atento a las interferencias y llevar una documentación detallada son prácticas clave que contribuyen al éxito de este proceso.

Estas consideraciones, junto con una correcta operación del equipo y una adecuada planificación, aseguran que los resultados obtenidos sean de la mayor calidad posible, facilitando así análisis más precisos y conclusiones fiables.

Simulaciones en Software

Ingreso de Datos: Tras realizar las mediciones, ingresa los datos recopilados en un software de simulación específico para análisis de resistividad del terreno.

Realización de Simulaciones: Utiliza el software para modelar las características del terreno y obtener una visión más completa de la resistividad en diferentes profundidades.

2.3 Manejo del software IPI2WIN

Para realizar un cálculo idóneo de la resistividad del suelo se debe tener en cuenta que el software a utilizar posee bastos comandos y procedimientos a tomar en cuenta, los cuales se detallan a continuación:

13. Ejecución de programa: Ejecutamos el programa como administrador

Ejecución de programa IPI2WIN



Nota. La Figura muestra la ejecución de programa para su instalación en el ordenador.

- 14. Instauración de un programa nuevo:** Crear un programa nuevo, con la base de datos vacía.

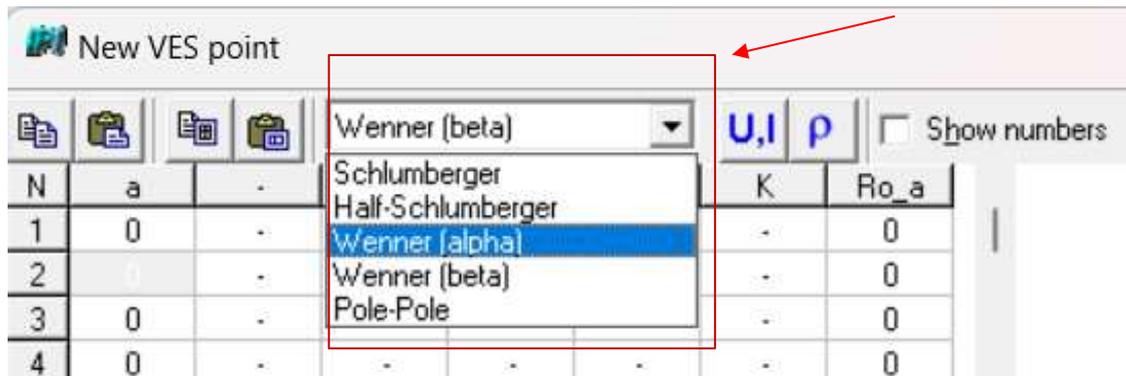
Creación de un programa nuevo



Nota. Se evidencia en la Figura la creación de un nuevo programa, con datos en blanco

- 15. Selección de método:** Escogemos el tipo de sondeo que se despliegan en las pestañas dependiendo de las necesidades del usuario.

Selección de método



Nota. Se evidencia en la Figura la selección del método a utilizar en la medición.

16. Modificación de datos: Modificamos los datos de entrada que sea directamente distancia con resistividad.

Relación distancia-Resistividad



Nota. En la Figura se muestra la relación entre datos de la distancia con respecto a la resistividad.

17. Incrustación de datos: Ingresamos los datos medidos con el telurómetro distancia (a) y resistividad (R).

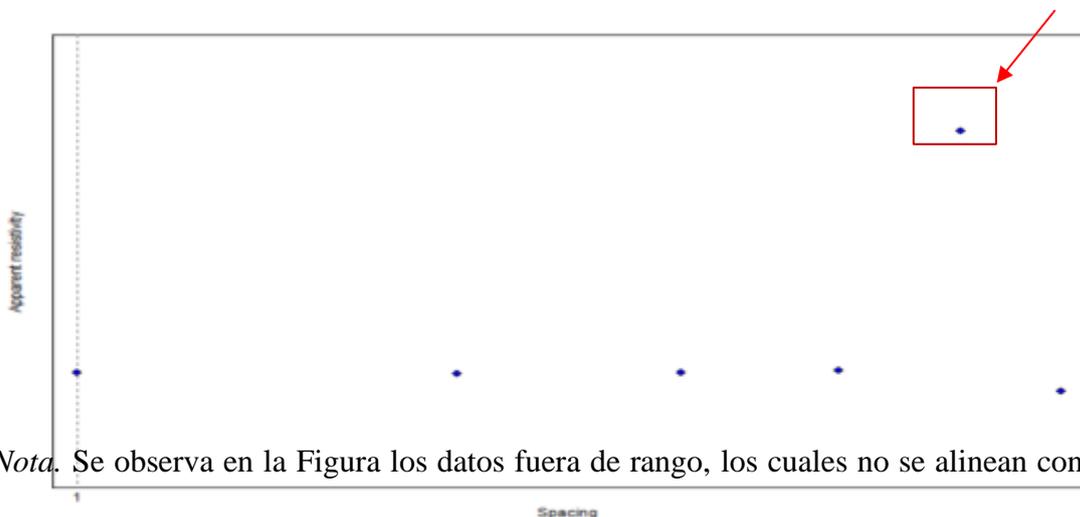
Ingreso de datos del telurómetro

N	a	-	SP	V	I	K	Ro_a
1	1	-	-	-	-	-	37.6
2	2	-	-	-	-	-	37.5
3	3	-	-	-	-	-	37.6
4	4	-	-	-	-	-	37.8
5	5	-	-	-	-	-	36.5
6	6	-	-	-	-	-	35.8

Nota. En la Figura se observa la inserción de valores captados por el telurómetro en la practicas de medición.

18. Identificación de datos: Ya ingresados los datos se va graficando cada uno de los puntos, en este momento se puede identificar datos fuera de rango que no va en relación con los otros puntos y se puede considerar que no es una buena medición y eliminar este punto.

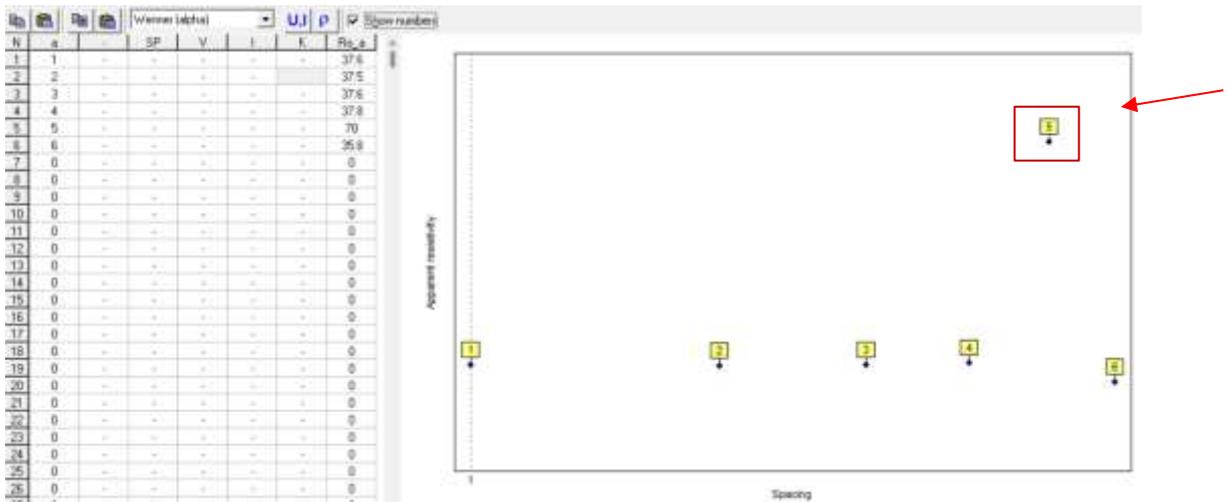
Identificación de datos fuera de rango



Nota. Se observa en la Figura los datos fuera de rango, los cuales no se alinean con los datos obtenidos en las otras mediciones.

19. Depreciación de puntos en la gráfica: Casilla en caso de que se tenga muchas mediciones y saber cuál punto tenemos que depreciar.

Depreciación de puntos



Nota. Se observa en la Figura los puntos que se deprecian dentro de la medición.

- 20. Almacenamiento de datos:** Para guardar los archivos de entrada; los datos ingresados se deben guardar presionando en SAVE TXT creamos una carpeta que se llame datos de Sondeo eléctrico vertical.

Almacenamiento de archivos de mediciones realizadas.



Nota. En la Figura se muestra las pestañas que se almacenan los datos de las mediciones realizadas.

- 21. Selección de archivos de almacenamiento:** Ya que los archivos se hayan guardado presionamos en Ok seguidamente se abre una ventana para guardar los archivos de procesamiento de datos.

Selección de carpeta de archivo.

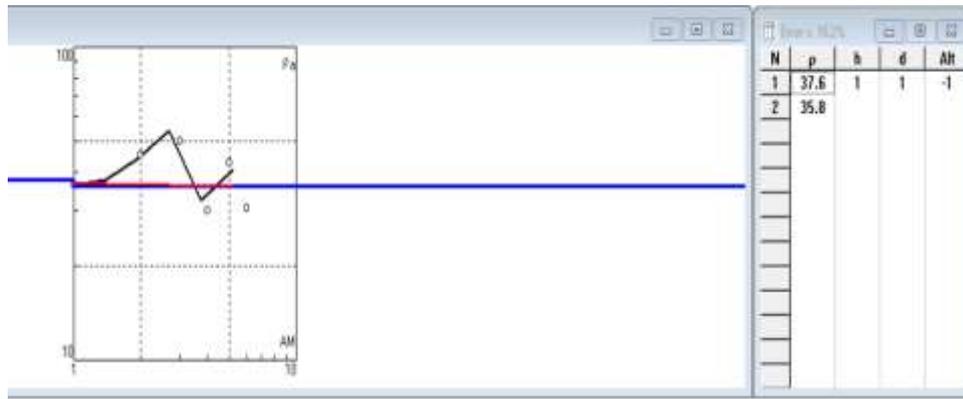


Nota. En la Figura se muestra las carpetas para almacenar los datos recolectados.

22. Simulación de gráfica: Interpretación de datos a partir de la gráfica generada en el simulador

- Curva de color negro: curva de campo
- Curva de color rojo: curva calculada
- Línea azul: resistividad y espesor
- Moviendo la línea azul horizontalmente cambia el espesor y la profundidad
- Moviendo la línea azul verticalmente se modifica la resistividad

Simulación de Gráfica.



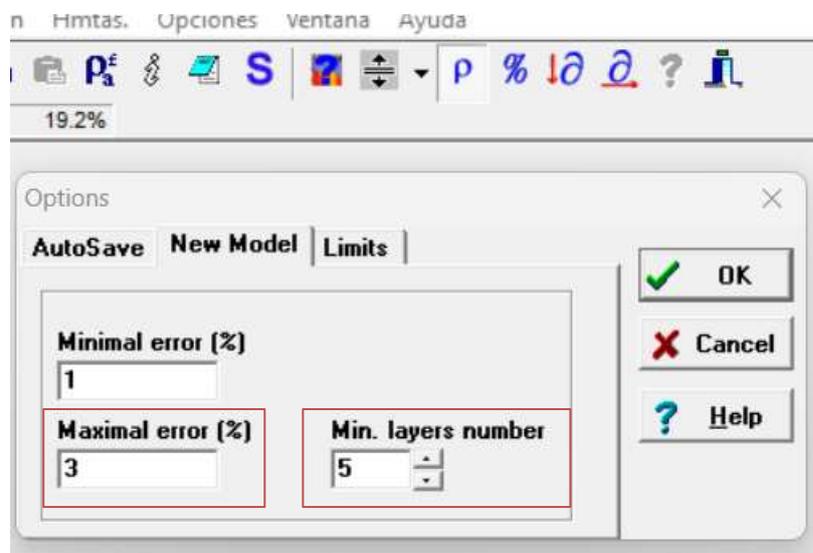
Nota. Se observa en la Figura la simulación de la gráfica obtenida en la medición.

23. Análisis de la curva obtenida: El objetivo del software es que busca los valores de resistividad y espesores tales que el proceso de inversión le permita ajustar la curva de color rojo (curva calculada) en relación con la curva de color negro.

24. Estimación del número de capas: Para que el proceso anteriormente indicado se efectuó con éxito se debe:

- Ajustar la opción de añadir o disminuir el número de capas que se va a utilizar

Estimación del número de capas.



Nota. Se observa en la Figura el ajuste del número de capas que intervienen en la medición.

- Añadiendo capa una a una, ajustando en espesor y resistividad la curva de color rojo haciendo que se asemeje a la curva de color negro.

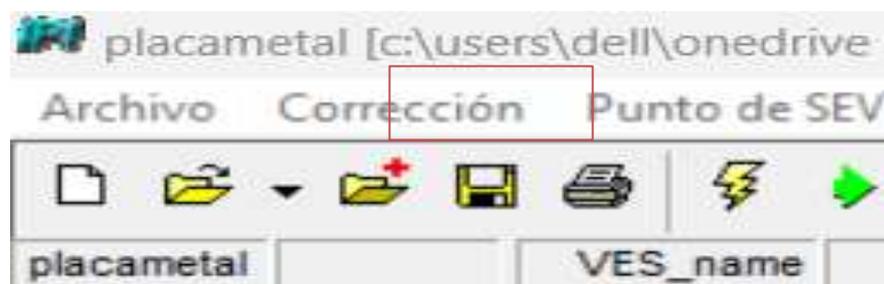
Asimilación entre curvas resultantes.



Nota. En la Figura se visualiza la similitud entre curvas resultantes derivadas de la medición.

- Después que hayamos ajustado lo que más se asemeje las dos curvas realizamos el proceso de inversión automática que nos va a ayudar a bajar el error de simulación.

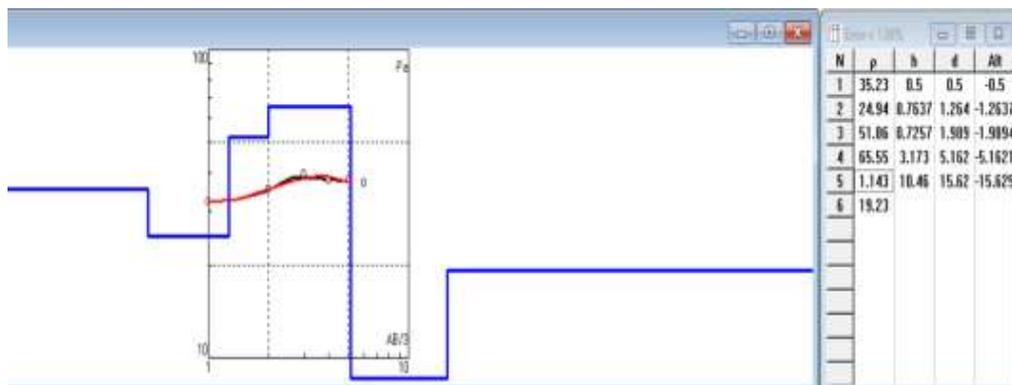
Inversión automática



Nota. En la Figura se visualiza inversión automática para disminuir el error de simulación.

- El proceso requiere de paciencia ajustando de manera horizontal el espesor y verticalmente la resistividad en la tabla que se ubica a un lado.
- Este es un proceso que nos ahorra calcular de forma analítica y no utilizar ecuaciones diferencias complejas.

Gráfica resultante



Nota. En la Figura se visualiza la gráfica resultante con los datos predispuestos.

- Óptimamente se ocupa de 2 a 4 capas
- El máximo error de la simulación debe ser 3%
- Si se ocupa más de 5 capas se vuelve complejo el modelo

Datos requeridos en la medición con el software IPI2WIN

N	p	h	d	Alt
1	35.23	0.5	0.5	-0.5
2	24.94	0.7637	1.264	-1.2637
3	51.86	0.7257	1.989	-1.9894
4	65.55	3.173	5.162	-5.1621
5	1.143	10.46	15.62	-15.625
6	19.23			

Nota. Se muestra en la Figura los datos requeridos en la medición.

Tomar en cuenta:

Realizar una captura ya que el programa no contiene memoria de los datos de salida y es probable el que proceso no quede guardado; además que el significado de cada sigla es:

- p es resistividad
- h es espesor
- d es profundidad de la capa
- Alt es la altura con respecto a la superficie

Análisis de Resultados

Interpretación de Datos

Comprensión de las Variaciones de Resistividad: Evalúa cómo la resistividad varía en diferentes puntos del terreno y en diferentes profundidades. Estas variaciones pueden indicar diferencias en la composición del suelo, la presencia de agua subterránea, o estructuras geológicas subterráneas.

Análisis Comparativo: Compara los datos de resistividad con información geológica o hidrológica conocida de la zona. Esto puede ayudar a validar los resultados y a interpretarlos en un contexto más amplio.

Uso de Software Especializado: Herramientas de software pueden ayudar a visualizar los datos en formatos como mapas de resistividad o perfiles de profundidad, facilitando su interpretación.

Elaboración de Reportes

Detalles de los Datos Recopilados: Incluye en el reporte todas las mediciones realizadas, junto con la configuración de los electrodos y las condiciones del terreno y climáticas.

Resultados de Simulaciones: Si se han realizado simulaciones, incluye estos resultados, explicando cómo complementan o corroboran los datos recogidos en campo.

Conclusiones y Recomendaciones: Basándote en el análisis de los datos, redacta conclusiones claras y proporciona recomendaciones o sugerencias para estudios futuros o para aplicaciones prácticas de los resultados.

Consideraciones Adicionales

Seguridad

Prioridad a la Seguridad: Toma todas las precauciones necesarias para garantizar la seguridad durante la toma de datos y el análisis. Esto incluye seguir las normativas de seguridad eléctrica y de trabajo en campo.

Formación y Asesoramiento Profesional: Si no tienes experiencia en el uso del equipo o en la interpretación de los datos, busca la guía de un profesional experimentado.

Calibración del Equipo

Importancia de la Calibración: Asegúrate de que el telurómetro esté calibrado correctamente antes de comenzar las mediciones. Una calibración incorrecta puede llevar a resultados inexactos.

Registro de Calibraciones: Lleva un registro de las calibraciones para mantener un control de calidad sobre el equipo.

Interferencias Externas

Identificación de Interferencias Potenciales: Antes de comenzar las mediciones, evalúa el área en busca de posibles fuentes de interferencia, como tuberías subterráneas o cables eléctricos.

Adaptación del Procedimiento: Si se identifican interferencias, ajusta el procedimiento de medición para minimizar su impacto.

El análisis de resultados en mediciones de resistividad del terreno es un proceso que requiere una cuidadosa interpretación de los datos, una detallada elaboración de reportes y una atención constante a la seguridad y precisión. Las consideraciones adicionales como

la calibración del equipo y la atención a interferencias externas son fundamentales para garantizar la exactitud y relevancia de los resultados obtenidos. Dependiendo de las características específicas del equipo y del sitio de medición, pueden ser necesarios pasos adicionales o variaciones en el procedimiento estándar.

*MÉTODOS DE MEDICIÓN DE
RESISTIVIDAD*

Método Wenner Alpha

	FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS	Edición 1
	<u>CARRERA DE ELECTRICIDAD</u> <i>PROTOCOLO DE MEDICIÓN EN BASE A UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO</i>	Revisión 1
PROTOCOLO 1		FECHA: 27/12/23

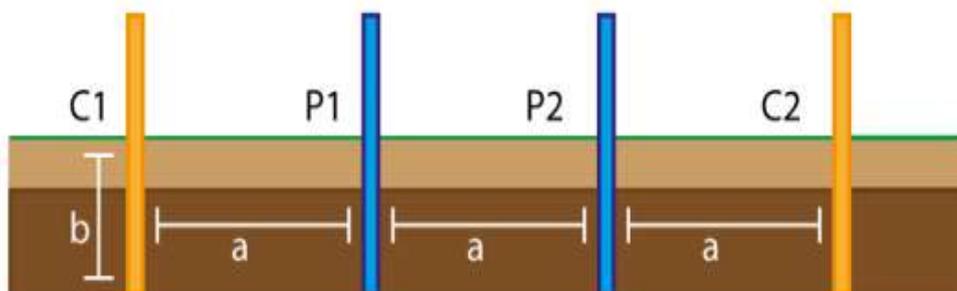
TEMA: Medición de resistividad por el método Wenner Alpha

El operario podrá medir la resistividad del suelo con la utilización de 4 electrodos lineales.

INTRODUCCIÓN:

El método Wenner Alpha se basa en la utilización de 4 electrodos los cuales se colocan en línea, los cuales se escalan con una separación fija, para lo cual dos electrodos son externos y dos internos; en los dos electrodos externos se suministra corriente eléctrica permitiendo verificar una caída de tensión en los dos electrodos internos y con ello detectando la resistividad del suelo en la zona seleccionada.

Configuración Wenner Alfa



FÓRMULA:

$$\rho = K \times a \times R$$

Donde:

ρ es la resistividad del suelo.

K es una constante dependiente de la configuración de los electrodos.

a es la separación entre los electrodos.

R es la resistencia medida.

MATERIALES Y EQUIPO:

Los materiales necesarios para la detección de la resistividad por este procedimiento son:

- **Cables:** Conductores de corriente los cuales permiten la conexión de los electrodos con el equipo de medición.
- **Electrodos:** Se emplean cuatro electrodos, los cuales se disponen a una distancia constante formando un arreglo equilibrado.
- **Instrumento de Medición:** Dispositivo encargado de medir la resistividad, el cual va conectado a los electrodos, el cual puede ser un telurómetro.
- **Fuente de Alimentación:** Suministro de corriente al circuito empleado.
- **Software:** Instrumento tecnológico digital para realizar los cálculos de los datos obtenidos.

ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA PRÁCTICA

Al emplearse este método se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Seguridad en el equipo de medición e inyección de corriente, los cuales deben tener un mantenimiento adecuado y sin deterioro, guiándose en las normas de seguridad que dicta el fabricante.
2. El entorno donde se realiza la práctica es fundamental de realizar una revisión de existencia de tuberías, soterramientos u otras infraestructuras las cuales interfieran con las mediciones o representen riesgos de accidentes latentes.
3. La manipulación de electrodos debe realizarse bajo parámetros de precaución, con el fin de no representar riesgos por su instalación para individuos de la zona.
4. Las condiciones climatológicas adversas son factores a tomar en cuenta antes de realizar las mediciones respectivas de resistividad.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE DEBE UTILIZARSE PARA EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El Equipo de Protección Individual “EPI” que se debe utilizar es el siguiente:

- **Ropa de Protección:** Overoles, camisas o pantalones confeccionados con materiales aislantes no conductores; además de ser resistentes al fuego.
- **Zapatos Dieléctricos:** Debe de cumplir con estándares de resistencia eléctrica que proporcione una barrera entre el suelo y las extremidades inferiores del operario.
- **Guantes aislantes:** Deben de cumplir con la normativa y estándares de resistencia eléctrica.
- **Cascos dieléctricos:** Debe proteger la cabeza de impacto y choques eléctricos.
- **Gafas:** Protección visual en caso de chispas o arcos eléctricos.

PROCEDIMIENTO:

Se debe seguir los siguientes pasos:

1. Inspeccionar la zona del terreno a monitorear.
2. Preparar los materiales.
3. Se coloca cuatro electrodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.
4. Se conectan los electrodos al equipo de medición.
5. Los dos electrodos exteriores son de suministro de corriente y los dos electrodos interiores se utilizan para medir el voltaje.
6. Se suministra corriente por medio de los dos electrodos exteriores.
7. Con el telurómetro se mide la caída de voltaje los electrodos interiores.
8. Se registran los datos de los valores obtenidos.
9. Calcular por medio de la formula los datos obtenidos en la medición.
10. Repetir el proceso con distancias distintas a las empleadas y con la misma posición.



Medidor de PH-temperatura-humedad

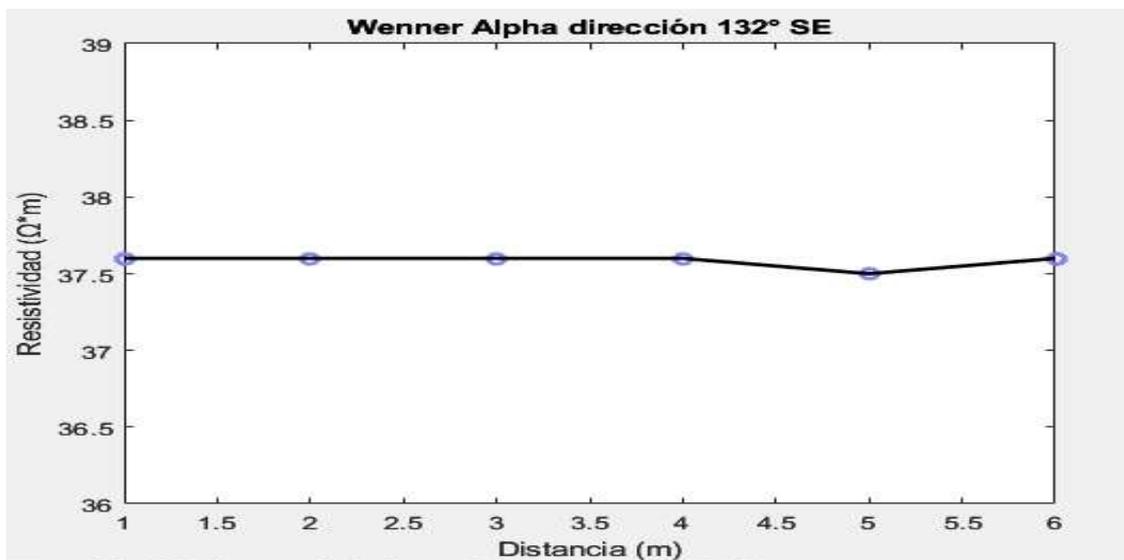


Telurómetro y electrodos

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos mediante este proceso son los siguientes:

TERRENO		RESISTIVIDAD	
Fecha de medición: 4 de julio del 2023	Localidad: El Olivo- Ibarra- Imbabura-Ecuador	PH: 8,5	
Hora: 8 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI- DY4300	
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 24 °C	Frecuencia: Auto	
Ubicación: N00°21,4440' O 078°06,7386'	Humedad: Dry +	Electrodos/Cables: 4 electrodos, 4 cables	
Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad ($\Omega \cdot m$)	
132°SE	1	37,6	
	2	37,6	
	3	37,6	
	4	37,6	
	5	37,5	
	6	37,6	



La resistividad medida se refleja con una constante de 37,6 $\Omega \cdot m$; lo que representa una homogeneidad del terreno.

CONCLUSIÓN

Los datos recolectados tienen veracidad y precisión dependiendo de la correcta posición de los electrodos y una calibración correcta del equipo de medición.

RECOMENDACIÓN

Seguir los lineamientos de seguridad y repetir el proceso de disposición de los electrodos con una variación en su distancia, para obtener la gráfica de resistividad con relación a la distancia.

Método Wenner Beta

	FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS	Edición 2
	<u>CARRERA DE ELECTRICIDAD</u> <i>PROTOCOLO DE MEDICIÓN EN BASE A UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO</i>	Revisión 2
PROTOCOLO 2		FECHA: 27/12/23

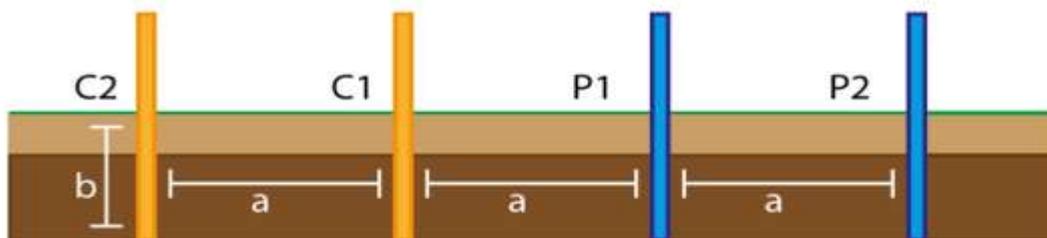
TEMA: Medición de resistividad por el método Wenner Beta

El operario podrá medir la resistividad del suelo con la utilización de 4 electrodos lineales.

INTRODUCCIÓN:

El método Wenner Beta es una variación del método Wenner Alpha; pero su principio de medición es el mismo; puesto que utiliza 4 electrodos en forma lineal con una separación fija; lo que los diferencia es la disposición de los electrodos, ya que los dos electrodos de suministro de corriente están consecutivos desde un extremo y los dos electrodos de medición de voltaje están consecutivos al extremo; además, este método es utilizado para medición de resistividad de terrenos horizontales y homogéneos.

Configuración Wenner Beta



FÓRMULA:

Donde:

ρ es la resistividad del suelo.

a es la separación entre los electrodos.

R es la resistencia medida.

$$\rho = 6\pi \times a \times R$$

MATERIALES Y EQUIPO:

Los materiales necesarios para la detección de la resistividad por este procedimiento son:

- **Cables:** Conductores de corriente los cuales permiten la conexión de los electrodos con el equipo de medición.
- **Electrodos:** Se emplean cuatro electrodos, los cuales se disponen a una distancia constante formando un arreglo equilibrado.
- **Instrumento de Medición:** Dispositivo encargado de medir la resistividad, el cual va conectado a los electrodos, el cual puede ser un telurómetro.
- **Fuente de Alimentación:** Suministro de corriente al circuito empleado.
- **Software:** Instrumento tecnológico digital para realizar los cálculos de los datos obtenidos.

ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA PRÁCTICA

Al emplearse este método se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Seguridad en el equipo de medición e inyección de corriente, los cuales deben tener un mantenimiento adecuado y sin deterioro, guiándose en las normas de seguridad que dicta el fabricante.

2. El entorno donde se realiza la práctica es fundamental de realizar una revisión de existencia de tuberías, soterraños u otras infraestructuras las cuales interfieran con las mediciones o representen riesgos de accidentes latentes.
3. La manipulación de electrodos debe realizarse bajo parámetros de precaución, con el fin de no representar riesgos por su instalación para individuos de la zona.
4. Las condiciones climatológicas adversas son factores a tomar en cuenta antes de realizar las mediciones respectivas de resistividad.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE DEBE UTILIZARSE PARA EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El Equipo de Protección Individual “EPI” que se debe utilizar es el siguiente:

- **Ropa de Protección:** Overoles, camisas o pantalones confeccionados con materiales aislantes no conductores; además de ser resistentes al fuego.
- **Zapatos Dieléctricos:** Debe de cumplir con estándares de resistencia eléctrica que proporcione una barrera entre el suelo y las extremidades inferiores del operario.
- **Guantes aislantes:** Deben de cumplir con la normativa y estándares de resistencia eléctrica.
- **Cascos dieléctricos:** Debe proteger la cabeza de impacto y choques eléctricos.
- **Gafas:** Protección visual en caso de chispas o arcos eléctricos.

PROCEDIMIENTO:

Se debe seguir los siguientes pasos:

1. Inspeccionar la zona del terreno a monitorear (Uso en terrenos horizontales u homogéneos).

2. Preparar los materiales.
3. Se coloca cuatro electrodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.
4. Se conectan los electrodos al equipo de medición.
5. Los dos electrodos consecutivos del extremo son de suministro de corriente y los dos electrodos consecutivos del otro extremo se utilizan para medir el voltaje.
6. Se suministra corriente por medio de los dos electrodos de suministro de corriente.
7. Con el telurómetro se mide la caída de voltaje los electrodos de caída de tensión.
8. Se registran los datos de los valores obtenidos.
9. Calcular por medio de la formula los datos obtenidos en la medición.
10. Repetir el proceso con distancias distintas a las empleadas y con la misma posición.



Medidor de PH-temperatura-humedad

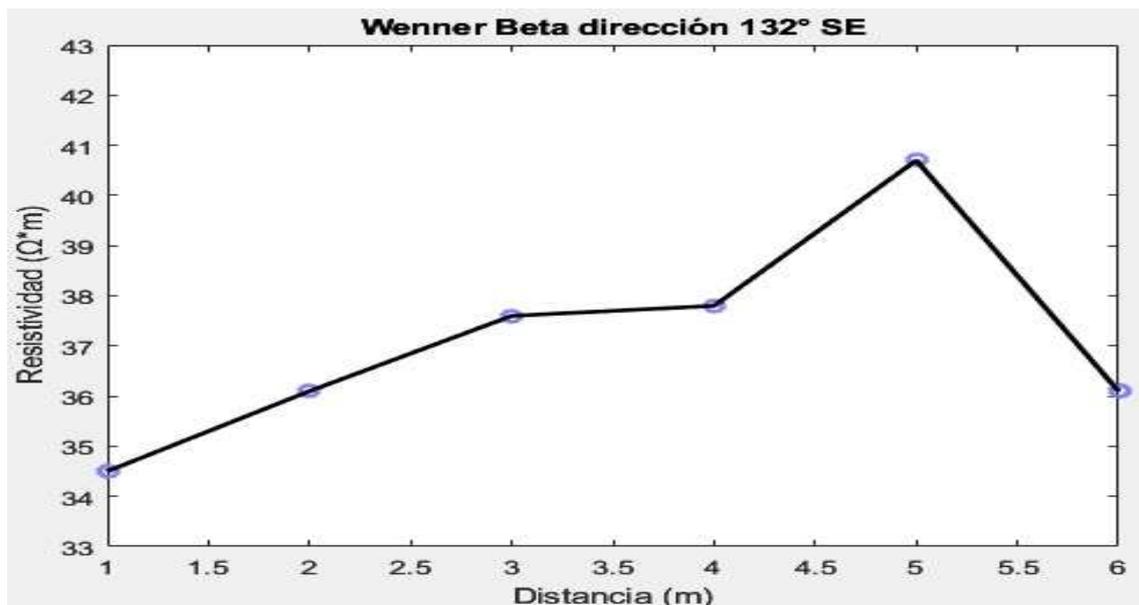


Telurómetro

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos mediante este proceso son los siguientes:

TERRENO		RESISTIVIDAD	
Fecha de medición: 5 de julio del 2023	Localidad: El Olivo- Ibarra- Imbabura-Ecuador	PH: 8,5	
Hora: 8 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI- DY4300	
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 23,4 °C	Frecuencia: Auto	
Ubicación: N00°21,4440' O 078°06,7386'	Humedad: Dry	Electrodos/Cables: 4 electrodos, 4 cables	
Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad ($\Omega \cdot m$)	
132°SE	1	34,5	
	2	36,1	
	3	37,6	
	4	37,8	
	5	40,7	



La resistividad medida se refleja con una línea ascendente en función de la distancia, lo que determina que el terreno presenta variantes de resistividad para diseñar estructuras que dependan de las propiedades eléctricas del suelo.

CONCLUSIÓN

La resistividad del suelo puede ser cambiante debido a factores climatológicos adversos como la lluvia que produce humedad, así como también la composición y compactación del suelo de la zona.

RECOMENDACIONES

Asegurarse que los instrumentos de medición estén óptimas condiciones para su uso; además de mantener un registro de mediciones; para a priori realizar análisis comparativos entre mediciones de resistividad.

Realizar la practica bajo los lineamientos de seguridad.

Método Wenner Gama

	FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS	Edición 2
	<u>CARRERA DE ELECTRICIDAD</u> <i>PROTOCOLO DE MEDICIÓN EN BASE A UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO</i>	Revisión 2
PROTOCOLO 3		FECHA: 27/12/23

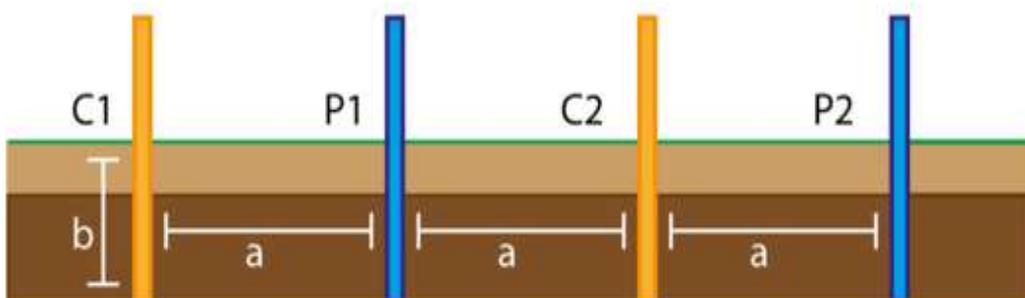
TEMA: Medición de resistividad por el método Wenner Gama

El operario podrá medir la resistividad del suelo con la utilización de 4 electrodos lineales.

INTRODUCCIÓN:

El método Wenner Gama es un método no muy utilizado dentro del cálculo de resistividad del suelo; de igual forma que los dos métodos Wenner Alpha y Beta la colocación de los electrodos se incrustan sobre el terreno en forma lineal con separación constante; lo que se diferencia con los anteriores es la disposición de los electrodos de suministro de corriente y los electrodos de caída de tensión o de medición de voltaje; puesto que van intercalados consecutivamente.

Configuración Wenner Gamma



FÓRMULA:

$$\rho = 3\pi \times a \times R$$

Donde:

ρ es la resistividad del suelo.

a es la separación entre los electrodos.

R es la resistencia medida.

MATERIALES Y EQUIPO:

Los materiales necesarios para la detección de la relatividad por este procedimiento son:

- **Cables:** Conductores de corriente los cuales permiten la conexión de los electrodos con el equipo de medición.
- **Electrodos:** Se emplean cuatro electrodos, los cuales se disponen a una distancia constante formando un arreglo equilibrado.
- **Instrumento de Medición:** Dispositivo encargado de medir la resistividad, el cual va conectado a los electrodos, el cual puede ser un telurómetro.
- **Fuente de Alimentación:** Suministro de corriente al circuito empleado.
- **Software:** Instrumento tecnológico digital para realizar los cálculos de los datos obtenidos.

ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA PRÁCTICA

Al emplearse este método se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Seguridad en el equipo de medición e inyección de corriente, los cuales deben tener un mantenimiento adecuado y sin deterioro, guiándose en las normas de seguridad que dicta el fabricante.

2. El entorno donde se realiza la práctica es fundamental de realizar una revisión de existencia de tuberías, soterraños u otras infraestructuras las cuales interfieran con las mediciones o representen riesgos de accidentes latentes.
3. La manipulación de electrodos debe realizarse bajo parámetros de precaución, con el fin de no representar riesgos por su instalación para individuos de la zona.
4. Las condiciones climatológicas adversas son factores a tomar en cuenta antes de realizar las mediciones respectivas de resistividad.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE DEBE UTILIZARSE PARA EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El Equipo de Protección Individual “EPI” que se debe utilizar es el siguiente:

- **Ropa de Protección:** Overoles, camisas o pantalones confeccionados con materiales aislantes no conductores; además de ser resistentes al fuego.
- **Zapatos Dieléctricos:** Debe de cumplir con estándares de resistencia eléctrica que proporcione una barrera entre el suelo y las extremidades inferiores del operario.
- **Guantes aislantes:** Deben de cumplir con la normativa y estándares de resistencia eléctrica.
- **Cascos dieléctricos:** Debe proteger la cabeza de impacto y choques eléctricos.
- **Gafas:** Protección visual en caso de chispas o arcos eléctricos.

PROCEDIMIENTO:

Se debe seguir los siguientes pasos:

1. Inspeccionar la zona del terreno a monitorear (Uso en terrenos horizontales u homogéneos).

2. Preparar los materiales.
3. Se coloca cuatro electrodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.
4. Se conectan los electrodos al equipo de medición.
5. Los electrodos de suministro de corriente se conectan consecutivamente intercalados con los electrodos de caída de tensión.
6. Se suministra corriente por medio de los dos electrodos de suministro de corriente.
7. Con el telurómetro se mide la caída de voltaje los electrodos de caída de tensión.
8. Se registran los datos de los valores obtenidos.
9. Calcular por medio de la formula los datos obtenidos en la medición.
10. Repetir el proceso con distancias distintas a las empleadas y con la misma posición.

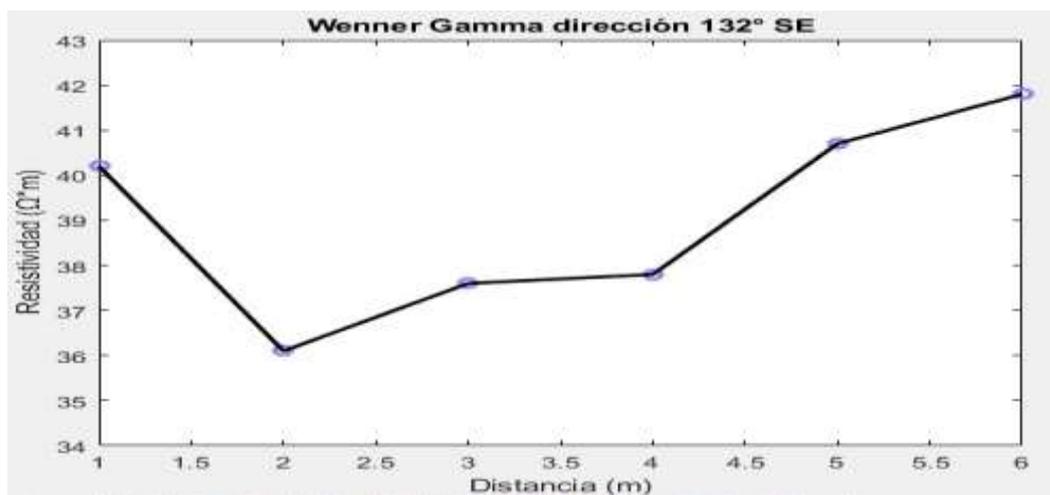


Medidor de PH-temperatura-humedad y Telurómetro

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos mediante este proceso son los siguientes:

TERRENO		RESISTIVIDAD	
Fecha de medición: 6 de julio del 2023	Localidad: El Olivo- Ibarra- Imbabura-Ecuador	PH: 8,5	
Hora: 8 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI- DY4300	
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 22 °C	Frecuencia: Auto	
Ubicación: N00°21,4440' O 078°06,7386'	Humedad: Dry +	Electrodos/Cables: 4 electrodos, 4 cables	
Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad Aparente ($\Omega \cdot m$)	
132°SE	1	40,2	
	2	36,1	
	3	37,6	
	4	37,8	
	5	40,7	



Se evidencia una distorsión de resistividad, iniciando con alta resistividad a poca distancia y disminuyendo la misma a mayor distancia con un aumento proporcional a medida que aumenta la distancia.

CONCLUSIÓN

Factores como humedad y compactación del suelo difieren la resistividad del suelo, lo que implica que la gráfica se represente con aumentos y caída de resistividad dependiendo de la distancia que se coloquen los electrodos.

RECOMENDACIONES

Realizar varias mediciones con factores de seguridad y manteniendo un registro de las mediciones realizadas.

Método Wenner-Schlumberger

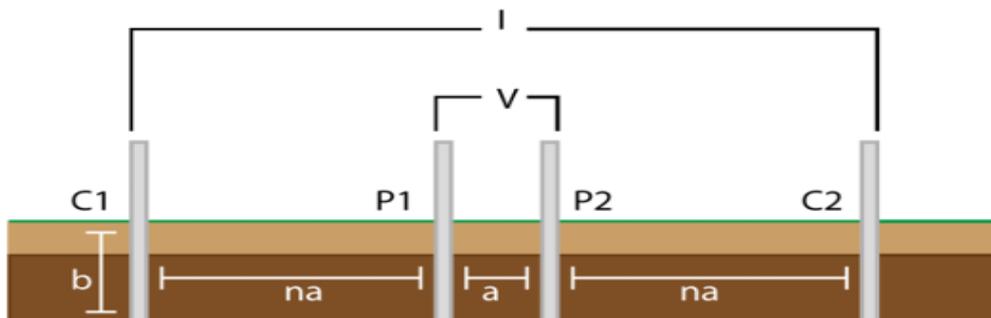
	FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS	Edición 4
	<u>CARRERA DE ELECTRICIDAD</u> <i>PROTOCOLO DE MEDICIÓN EN BASE A UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO</i>	Revisión 4
PROTOCOLO 4		FECHA: 27/12/23

TEMA: Medición de resistividad por el método Wenner-Schlumberger

El operario podrá medir la resistividad del suelo con la utilización de 4 electrodos lineales y un equipo de medición.

INTRODUCCIÓN:

El método Wenner- Schlumberger es una derivación del método Wenner, la cual se utiliza en sondeos de zonas verticales con análisis más profundos; puesto que la disposición de los electrodos se los puede colocar a mayores distancias sin repercutir en el instrumento de medición, limitando su margen de error para determinar la resistividad del suelo; la disposición de los electrodos se los coloca de la forma convencional del método Wenner en línea, pero a diferencia los dos electrodos de los extremos son de suministro de corriente y su distancia no es constante y los dos electrodos interiores son de caída de tensión los cuales su distancia es constante.



FÓRMULA:

$$\rho = \pi R \times L^2 / a$$

Donde:

ρ es la resistividad del suelo.

L es la distancia

a es la separación entre los electrodos.

R es la resistencia medida.

MATERIALES Y EQUIPO:

Los materiales necesarios para la detección de la relatividad por este procedimiento son:

- **Cables:** Conductores de corriente los cuales permiten la conexión de los electrodos con el equipo de medición.
- **Electrodos:** Se emplean cuatro electrodos, los cuales se disponen a una distancia constante formando un arreglo equilibrado.
- **Instrumento de Medición:** Dispositivo encargado de medir la resistividad, el cual va conectado a los electrodos, el cual puede ser un telurómetro.
- **Fuente de Alimentación:** Suministro de corriente al circuito empleado.
- **Software:** Instrumento tecnológico digital para realizar los cálculos de los datos obtenidos.

ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA PRÁCTICA

Al emplearse este método se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Seguridad en el equipo de medición e inyección de corriente, los cuales deben tener un mantenimiento adecuado y sin deterioro, guiándose en las normas de seguridad que dicta el fabricante.

2. El entorno donde se realiza la práctica es fundamental de realizar una revisión de existencia de tuberías, soterraños u otras infraestructuras las cuales interfieran con las mediciones o representen riesgos de accidentes latentes.
3. La manipulación de electrodos debe realizarse bajo parámetros de precaución, con el fin de no representar riesgos por su instalación para individuos de la zona.
4. Las condiciones climatológicas adversas son factores a tomar en cuenta antes de realizar las mediciones respectivas de resistividad.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE DEBE UTILIZARSE PARA EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El Equipo de Protección Individual “EPI” que se debe utilizar es el siguiente:

- **Ropa de Protección:** Overoles, camisas o pantalones confeccionados con materiales aislantes no conductores; además de ser resistentes al fuego.
- **Zapatos Dieléctricos:** Debe de cumplir con estándares de resistencia eléctrica que proporcione una barrera entre el suelo y las extremidades inferiores del operario.
- **Guantes aislantes:** Deben de cumplir con la normativa y estándares de resistencia eléctrica.
- **Cascos dieléctricos:** Debe proteger la cabeza de impacto y choques eléctricos.
- **Gafas:** Protección visual en caso de chispas o arcos eléctricos.

PROCEDIMIENTO:

Se debe seguir los siguientes pasos:

1. Inspeccionar la zona del terreno a monitorear.
2. Preparar los materiales.

3. Se coloca cuatro electrodos en línea recta con una separación mayor en los electrodos de suministro de corriente respecto a los electrodos de medida de tensión sobre la superficie a medir.
4. Se conectan los electrodos al equipo de medición.
5. Los dos electrodos exteriores son de suministro de corriente y los dos electrodos interiores se utilizan para medir el voltaje.
6. Se suministra corriente por medio de los dos electrodos exteriores.
7. Con el telurómetro se mide la caída de voltaje los electrodos interiores.
8. Se registran los datos de los valores obtenidos.
9. Calcular por medio de la formula los datos obtenidos en la medición.
10. Repetir el proceso con distancias distintas a las empleadas y con la misma posición.



Medidor de PH-temperatura-humedad

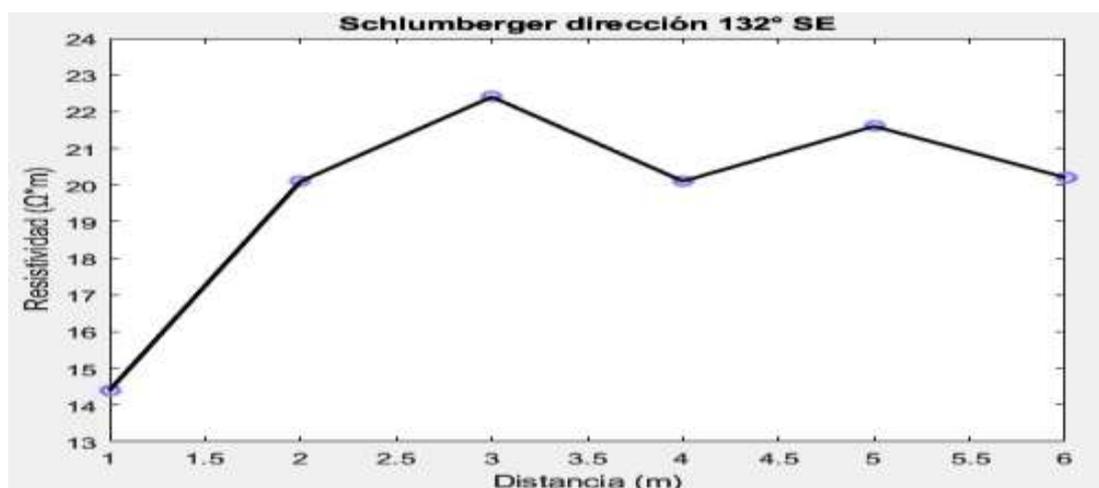


Telurómetro

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos mediante este proceso son los siguientes:

TERRENO		RESISTIVIDAD	
Fecha de medición: 11 de julio del 2023	Localidad: El Olivo- Ibarra- Imbabura-Ecuador	PH: 8,5	
Hora: 8 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI- DY4300	
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 24 °C	Frecuencia: Auto	
Ubicación: N00°21,4440' O 078°06,7386'	Humedad: Dry +	Electrodos/Cables: 4 electrodos, 4 cables	
Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad Aparente ($\Omega \cdot m$)	
132°SE	1	14,4	
	2	20,1	
	3	22,4	
	4	20,1	
	5	21,6	



Se evidencia en torno a los datos y la gráfica predispuesta que la resistividad en la zona realizada la medición con este método tiende al alza conforme su distancia avanza, evidenciando picos a la baja de la resistividad por variación de la distancia en la separación de los electrodos.

CONCLUSION

Los resultados obtenidos pueden conllevar grado de complejidad al momento de utilizar el método de Schlumberger; por lo que la correcta utilización de la fórmula conlleva a un estudio fehaciente de la resistividad del suelo.

RECOMENDACION

Se recomienda basarse en el análisis de resultados en datos recopilados previamente con el fin de interpretar la variación de la resistividad con diferentes profundidades.

Método polo-polo

	FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS	Edición 5
	CARRERA DE ELECTRICIDAD <i>PROTOCOLO DE MEDICIÓN EN BASE A UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO</i>	Revisión 5
PROTOCOLO 5		FECHA: 27/12/23

TEMA: Medición de resistividad por el método polo-polo

El operario podrá medir la resistividad del suelo con la utilización de 2 electrodos lineales y un equipo de medición.

INTRODUCCIÓN:

El método polo-polo se emplean dos electrodos, un electrodo es de suministro de corriente y el otro es de medición de diferencia de potencial; estos electrodos se los conecta con una separación constante; es empleado con una configuración específica a fin de calcular la resistividad del suelo.



FÓRMULA:

$$\rho = 2\pi \times a (\Delta V/I)$$

Donde:

ρ es la resistividad del suelo.

a es la separación entre los electrodos.

$(\Delta V/I)$ es la variación voltaje sobre intensidad.

MATERIALES Y EQUIPO:

Los materiales necesarios para la detección de la relatividad por este procedimiento son:

- **Cables:** Conductores de corriente los cuales permiten la conexión de los electrodos con el equipo de medición.
- **Electrodos:** Se emplean cuatro electrodos, los cuales se disponen a una distancia constante formando un arreglo equilibrado.
- **Instrumento de Medición:** Dispositivo encargado de medir la resistividad, el cual va conectado a los electrodos, el cual puede ser un telurómetro.
- **Fuente de Alimentación:** Suministro de corriente al circuito empleado.
- **Software:** Instrumento tecnológico digital para realizar los cálculos de los datos obtenidos.

ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA PRÁCTICA

Al emplearse este método se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Seguridad en el equipo de medición e inyección de corriente, los cuales deben tener un mantenimiento adecuado y sin deterioro, guiándose en las normas de seguridad que dicta el fabricante.
2. El entorno donde se realiza la práctica es fundamental de realizar una revisión de existencia de tuberías, soterraños u otras infraestructuras las cuales interfieran con las mediciones o representen riesgos de accidentes latentes.
3. La manipulación de electrodos debe realizarse bajo parámetros de precaución, con el fin de no representar riesgos por su instalación para individuos de la zona.
4. Las condiciones climatológicas adversas son factores a tomar en cuenta antes de realizar las mediciones respectivas de resistividad.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE DEBE UTILIZARSE PARA EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El Equipo de Protección Individual “EPI” que se debe utilizar es el siguiente:

- **Ropa de Protección:** Overoles, camisas o pantalones confeccionados con materiales aislantes no conductores; además de ser resistentes al fuego.
- **Zapatos Dieléctricos:** Debe de cumplir con estándares de resistencia eléctrica que proporcione una barrera entre el suelo y las extremidades inferiores del operario.
- **Guantes aislantes:** Deben de cumplir con la normativa y estándares de resistencia eléctrica.
- **Cascos dieléctricos:** Debe proteger la cabeza de impacto y choques eléctricos.
- **Gafas:** Protección visual en caso de chispas o arcos eléctricos.

PROCEDIMIENTO:

Se debe seguir los siguientes pasos:

1. Inspeccionar la zona del terreno a monitorear.
2. Preparar los materiales.
3. Se coloca dos electrodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.
4. Se conectan los electrodos al equipo de medición.
5. Un electrodo es de suministro de corriente y el otro electrodo es de caída de tensión.
6. Se suministra corriente por medio de un electrodo.
7. Con el telurómetro se mide la caída de voltaje del otro electrodo.
8. Se registran los datos de los valores obtenidos.

9. Calcular por medio de la formula los datos obtenidos en la medición.
10. Repetir el proceso con distancias distintas a las empleadas y con la misma posición.



Medidor de PH-temperatura-humedad



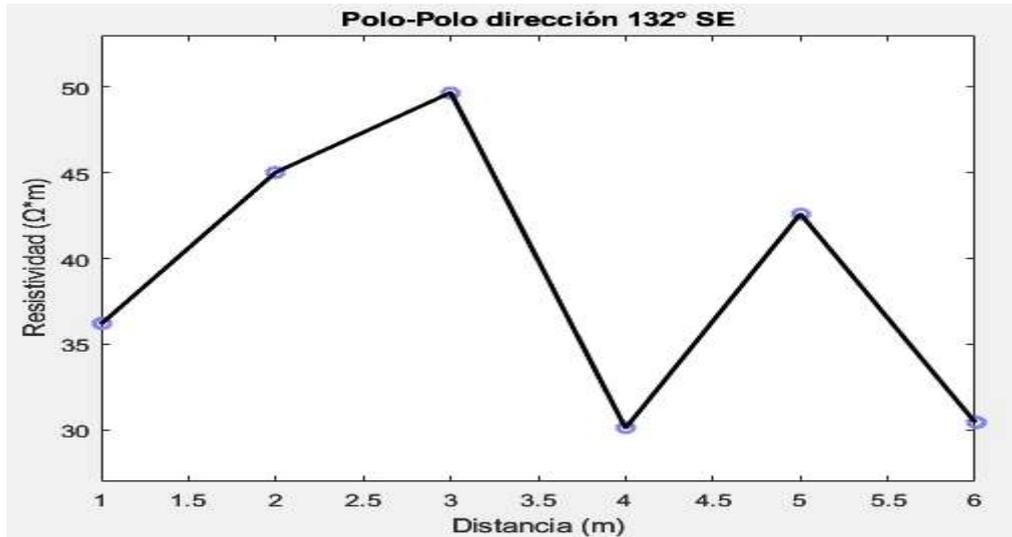
Telurómetro

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos mediante este proceso son los siguientes:

PLACA TERRENO		RESISTIVIDAD
Fecha de medición: 10 de julio del 2023	Localidad: El Olivo- Ibarra- Imbabura-Ecuador	PH: 8,5
Hora: 8 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI- DY4300
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 25 °C	Frecuencia: Auto
Ubicación: N00°21,4440' O 078°06,7386'	Humedad: Dry	Electrodos/Cables: 2 electrodos, 2 cables
Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad Aparente ($\Omega \cdot m$)
132°SE	1	36,18

2	45,02
3	49,66
4	30,11
5	42,6



La resistividad medida con este método refleja un aumento relativo conforme la distancia aumenta, declinando súbitamente a 4 metros con $30.11\Omega*m$ y subiendo uniformemente conforme la distancia es mayor.

CONCLUSIÓN

Es un método simple con relación al empleo de electrodos para medir resistencia; además que faculta obtener información del suelo en distintas profundidades.

RECOMENDACIÓN

Seguir los lineamientos de seguridad y repetir el proceso de disposición de los electrodos con una variación en su distancia, para obtener la gráfica de resistividad con relación a la distancia.

Método polo-dipolo

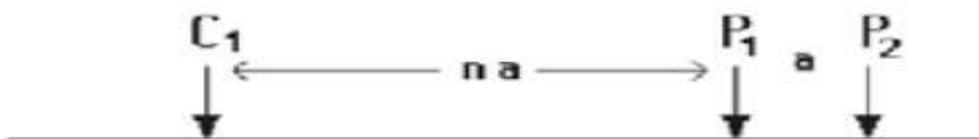
	FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE ELECTRICIDAD <i>PROTOCOLO DE MEDICIÓN EN BASE A UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO</i>	Edición 6 Revisión 6
	PROTOCOLO 6	FECHA: 27/12/23

TEMA: Medición de resistividad por el método polo-dipolo

El operario podrá medir la resistividad del suelo con la utilización de 3 electrodos lineales y un equipo de medición.

INTRODUCCIÓN:

En este método polo-dipolo se emplea un electrodo en la parte central al cual por su posición se lo denomina polo y es al cual se le suministra la corriente eléctrica y dos electrodos a los extremos con los cuales se conecta el instrumento de medición para la medición de voltaje; las mediciones varían las distancias entre el polo y los dipolos.



FÓRMULA:

$$\rho = 2\pi \times a \times n \times (n+1) (\Delta V/I)$$

Donde:

ρ es la resistividad del suelo.

a es la separación entre los electrodos.

$(n+1)$ es la distancia entre los dos pares de electrodos

$(\Delta V/I)$ es la variación voltaje sobre intensidad.

MATERIALES Y EQUIPO:

Los materiales necesarios para la detección de la relatividad por este procedimiento son:

- **Cables:** Conductores de corriente los cuales permiten la conexión de los electrodos con el equipo de medición.
- **Electrodos:** Se emplean cuatro electrodos, los cuales se disponen a una distancia constante formando un arreglo equilibrado.
- **Instrumento de Medición:** Dispositivo encargado de medir la resistividad, el cual va conectado a los electrodos, el cual puede ser un telurómetro.
- **Fuente de Alimentación:** Suministro de corriente al circuito empleado.
- **Software:** Instrumento tecnológico digital para realizar los cálculos de los datos obtenidos.

ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA PRÁCTICA

Al emplearse este método se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Seguridad en el equipo de medición e inyección de corriente, los cuales deben tener un mantenimiento adecuado y sin deterioro, guiándose en las normas de seguridad que dicta el fabricante.
2. El entorno donde se realiza la práctica es fundamental de realizar una revisión de existencia de tuberías, soterraños u otras infraestructuras las cuales interfieran con las mediciones o representen riesgos de accidentes latentes.
3. La manipulación de electrodos debe realizarse bajo parámetros de precaución, con el fin de no representar riesgos por su instalación para individuos de la zona.
4. Las condiciones climatológicas adversas son factores a tomar en cuenta antes de realizar las mediciones respectivas de resistividad.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE DEBE UTILIZARSE PARA EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El Equipo de Protección Individual “EPI” que se debe utilizar es el siguiente:

- **Ropa de Protección:** Overoles, camisas o pantalones confeccionados con materiales aislantes no conductores; además de ser resistentes al fuego.
- **Zapatos Dieléctricos:** Debe de cumplir con estándares de resistencia eléctrica que proporcione una barrera entre el suelo y las extremidades inferiores del operario.
- **Guantes aislantes:** Deben de cumplir con la normativa y estándares de resistencia eléctrica.
- **Cascos dieléctricos:** Debe proteger la cabeza de impacto y choques eléctricos.
- **Gafas:** Protección visual en caso de chispas o arcos eléctricos.

PROCEDIMIENTO:

Se debe seguir los siguientes pasos:

1. Inspeccionar la zona del terreno a monitorear.
2. Preparar los materiales.
3. Se coloca tres electrodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.
4. Se conecta el electrodo al equipo de medición.
5. Un electrodo es de suministro de corriente y los dos electrodos juntos restantes se utilizan para medir el voltaje.
6. Se suministra corriente por medio del electrodo polo.
7. Con el telurómetro se mide la caída de voltaje los electrodos restantes.
8. Se registran los datos de los valores obtenidos.

9. Calcular por medio de la formula los datos obtenidos en la medición.
10. Repetir el proceso con distancias distintas a las empleadas y con la misma posición.



Medidor de PH-temperatura-humedad



Telurómetro

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos mediante este proceso son los siguientes:

PLACA TERRENO		RESISTIVIDAD
Fecha de medición: 10 de julio del 2023	Localidad: El Olivo- Ibarra- Imbabura-Ecuador	PH: 8,5
Hora: 8 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI- DY4300
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 25 °C	Frecuencia: Auto
Ubicación: N00°21,4440' O 078°06,7386'	Humedad: Dry	Electrodos/Cables: 3 electrodos, 3 cables
Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad Aparente (Ω*m)
132°SE	1	180,18

	2	270,02
	4	410,66
	8	630,11



Refleja que la resistividad del suelo es ascendente con la toma de mediciones con este método, lo que ocurre que la resistividad en mayores distancias aumenta significativamente.

CONCLUSION

Con la utilización de tres electrodos se obtiene información con datos específicos a detalle de la resistividad de la zona que se mide.

RECOMENDACION

Variar la distancia y separación de los ángulos de los electrodos en fin de obtener valores detallados veraces.

Método dipolo-dipolo

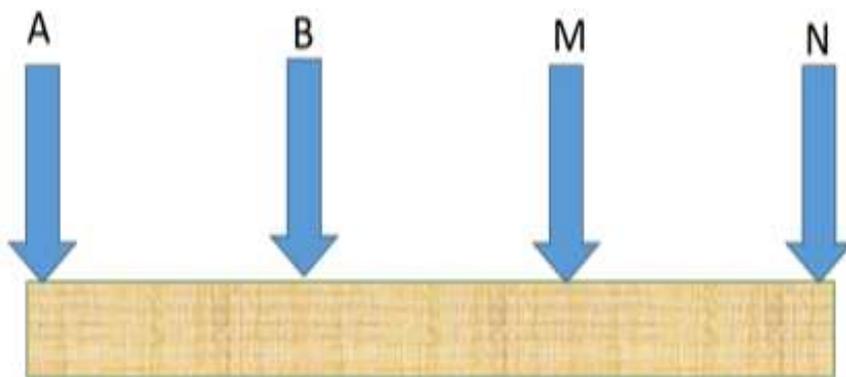
	<p>FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS</p> <p><u>CARRERA DE ELECTRICIDAD</u></p> <p><i>PROTOCOLO DE MEDICIÓN EN BASE A UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO</i></p>	<p>Edición 7</p> <p>Revisión 7</p>
<p>PROTOCOLO 7</p>		<p>FECHA: 27/12/23</p>

TEMA: Medición de resistividad por el método dipolo-dipolo

El operario podrá medir la resistividad del suelo con la utilización de 4 electrodos lineales y un equipo de medición.

INTRODUCCIÓN:

El método dipolo-dipolo utiliza una técnica similar al método Wenner en la disposición de electrodos; por el hecho de utilizar dos electrodos de toma de corriente eléctrica y dos electrodos de medición en la diferencia de potencial; pero a la vez es una técnica más avanzada en hecho de obtener mayor resolución espacial y mejor caracterización de la resistividad del suelo de la zona de investigación.



FÓRMULA:

Donde:

ρ es la resistividad del suelo.

a es la separación entre los electrodos.

$(n+1)$ es la distancia entre los dos pares de electrodos

$(n+2)$ es la distancia entre los dos pares de electrodos

$(\Delta V/I)$ es la variación voltaje sobre intensidad.

$$\rho = n \times (n+1) \times (n+2) \times \pi \times a(\Delta V/I)$$

MATERIALES Y EQUIPO:

Los materiales necesarios para la detección de la relatividad por este procedimiento son:

- **Cables:** Conductores de corriente los cuales permiten la conexión de los electrodos con el equipo de medición.
- **Electrodos:** Se emplean cuatro electrodos, los cuales se disponen a una distancia constante formando un arreglo equilibrado.
- **Instrumento de Medición:** Dispositivo encargado de medir la resistividad, el cual va conectado a los electrodos, el cual puede ser un telurómetro.
- **Fuente de Alimentación:** Suministro de corriente al circuito empleado.
- **Software:** Instrumento tecnológico digital para realizar los cálculos de los datos obtenidos.

ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA PRÁCTICA

Al emplearse este método se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Seguridad en el equipo de medición e inyección de corriente, los cuales deben tener un mantenimiento adecuado y sin deterioro, guiándose en las normas de seguridad que dicta el fabricante.
2. El entorno donde se realiza la práctica es fundamental de realizar una revisión de existencia de tuberías, soterramientos u otras infraestructuras las cuales interfieran con las mediciones o representen riesgos de accidentes latentes.
3. La manipulación de electrodos debe realizarse bajo parámetros de precaución, con el fin de no representar riesgos por su instalación para individuos de la zona.
4. Las condiciones climatológicas adversas son factores a tomar en cuenta antes de realizar las mediciones respectivas de resistividad.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE DEBE UTILIZARSE PARA EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El Equipo de Protección Individual “EPI” que se debe utilizar es el siguiente:

- **Ropa de Protección:** Overoles, camisas o pantalones confeccionados con materiales aislantes no conductores; además de ser resistentes al fuego.
- **Zapatos Dieléctricos:** Debe de cumplir con estándares de resistencia eléctrica que proporcione una barrera entre el suelo y las extremidades inferiores del operario.
- **Guantes aislantes:** Deben de cumplir con la normativa y estándares de resistencia eléctrica.
- **Cascos dieléctricos:** Debe proteger la cabeza de impacto y choques eléctricos.
- **Gafas:** Protección visual en caso de chispas o arcos eléctricos.

PROCEDIMIENTO:

Se debe seguir los siguientes pasos:

1. Inspeccionar la zona del terreno a monitorear.
2. Preparar los materiales.
3. Se coloca cuatro electrodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.
4. Se conectan los electrodos al equipo de medición.
5. Se suministra corriente en dos electrodos dipolos y los dos electrodos dipolos restantes se utilizan para medir el voltaje.
6. Se suministra corriente por medio de los dos electrodos dipolos.
7. Con el telurómetro se mide la caída de voltaje los electrodos dipolos.
8. Se registran los datos de los valores obtenidos.
9. Calcular por medio de la formula los datos obtenidos en la medición.
10. Repetir el proceso con distancias distintas a las empleadas y con la misma posición.



Medidor de PH-temperatura-humedad



Telurómetro

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos mediante este proceso son los siguientes:

TERRENO		RESISTIVIDAD	
Fecha de medición: 4 de julio del 2023	Localidad: El Olivo- Ibarra- Imbabura-Ecuador	PH: 8,5	
Hora: 8 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI- DY4300	
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 24 °C	Frecuencia: Auto	
Ubicación: N00°21,4440' O 078°06,7386'	Humedad: Dry +	Electrodos/Cables: 4 electrodos, 4 cables	
Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad ($\Omega \cdot m$)	
132°SE	1	37,6	
	2	37,6	
	3	37,6	
	4	37,6	
	5	37,5	
	6	37,6	

La resistividad medida se refleja con una constante de 37,6 $\Omega \cdot m$; lo que representa una homogeneidad del terreno.

CONCLUSION

La utilización de este método de medición de resistividad del suelo es muy sensible a variaciones de resistividad lateral, además de obtener una baja caída de voltaje.

RECOMENDACION

Es recomendable utilizar los electrodos a cercanías de la superficie, por el hecho que ha mayor profundidad del electrodo no suele ser efectivo.

Tabla comparativa entre Métodos

MÉTODOS PARA CALCULAR LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD

	<i>Método Wenner Alpha</i>	<i>Método Wenner Beta</i>	<i>Método Wenner Gama</i>	<i>Método Wenner- Schlumberger</i>	<i>Método polo-polo</i>	<i>Método polo-dipolo</i>	<i>Método dipolo-dipolo</i>
Aplicación	Empleado en superficies horizontales y verticales.	Empleado en estructuras geológicas complejas.	Áreas selectas donde su configuración particular de electodos puede proporcionar datos más precisos o específicos.	Información detallada sobre la resistividad del subsuelo a diferentes profundidades.	Empleado en superficies horizontales y verticales	Empleados en terrenos para obtener datos de resistividad superficial.	Empleados en laderas con inclinaciones y zonas minerales.
Disposición de Electrodo	Cuatro electodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.	Cuatro electodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.	Cuatro electodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.	Cuatro electodos en línea recta con una separación mayor en los electodos de suministro.	Dos electodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.	Tres electodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.	Cuatro electodos en línea recta con una separación fija sobre la superficie a medir.
Distancia entre Electrodo	Constante.	Constante.	Constante.	Mayor distancia entre electodos de suministro con respecto a	Constante.	El electodo de corriente se distribuye a mayor distancia de los	Constante.

				electrodos de caída de tensión.	electrodos de voltaje.		
Conexión Electrodo-Dispositivo de medición	<ul style="list-style-type: none"> Electrodos Extremos suministro de corriente. Electrodos Internos caída de voltaje. 	<ul style="list-style-type: none"> Dos electrodos consecutivos del extremo de suministro de corriente. Dos electrodos consecutivos del otro extremo se utilizan para medir el voltaje 	Los electrodos de suministro de corriente se conectan consecutivamente intercalados con los electrodos de caída de tensión.	<ul style="list-style-type: none"> Electrodos Extremos suministro de corriente. Electrodos Internos caída de voltaje. 	<ul style="list-style-type: none"> Un electrodo de suministro de corriente. Un electrodo de caída de voltaje 	<ul style="list-style-type: none"> Un electrodo de suministro de corriente. Dos electrodos de caída de voltaje 	<ul style="list-style-type: none"> Dos Electrodo dipolares suministro de corriente. Dos Electrodo dipolares caída de voltaje.
Fórmula de cálculo de resistividad	$\rho = K \times a \times R$	$\rho = 6\pi \times a \times R$	$\rho = 3\pi \times a \times R$	$\rho = \pi R \times L^2 / a$	$\rho = 2\pi \times a (\Delta V / I)$	$\rho = 2\pi \times a \times n \times (n+1) (\Delta V / I)$	$\rho = n \times (n+1) \times (n+2) \times \pi \times a (\Delta V / I)$

En definitiva, se verifica después de la comparativa de métodos se factibiliza la utilización del método Wenner Alpha para el cálculo de la resistividad del suelo, por su versatilidad y exactitud de medición, además de ser el método con mayor información en base a su procedimiento de empleo y análisis de datos.

Según García en su libro afirma que:

Al utilizar un telurómetro clásico se emplea el método Wenner Alpha; donde se colocan electrodos en línea recta con una separación constante, de los cuales dos electrodos son extremos de suministro de corriente y dos electrodos interiores de diferencial de potencial. (García, 1990)

Lo que representa que este método es muy versátil facultado su optima utilización en la mayoría de estudios con el fin de medir la resistividad del suelo e implantar un sistema de puesta a tierra.

García también enfatiza que:

Las curvas teóricas se visualizan con los datos teóricos obtenidos tanto a trazo como experimentales, de medidas de forma continua o continua-trazo, implicando que si la curva tiende a decrecer el subsuelo es de mejores características que el plano superficial. (García, 1990).

Por lo tanto, se evidencia que el método Wenner es de mayor facilidad de uso, comprensión y análisis de datos con relación a medición de resistividad del suelo; a la vez que apoya esta afirmación en su libro de “Puesta a tierra en instalaciones Eléctricas” Rogelio García.

Consideraciones Generales

Para realizar las mediciones de resistividad del suelo, independientemente del método que se seleccione, es necesario considerar los siguientes puntos:

- **Selección del terreno.**

Verificar el tipo y composición del suelo; además como la disposición del mismo, con el fin de determinar la zona estratégica para la toma de lectura de datos.

- **Instrumentos de medición.**

Se debe tener en cuenta los siguientes aspectos en los siguientes instrumentos y herramientas de medición de resistividad:

Telurómetro: Verificar que el instrumento de medición se encuentre en buenas condiciones; además verificar que los reportes y cálculos, lecturas y calibración se estimen errores asociados de $k=2(95.45\%)$ de confianza; además de utilizar en la escala adecuada dependiendo del estudio a realizar para evitar daños con el telurómetro.

Para verificar la frecuencia se debe calibrar entre 94Hz y 128Hz con el fin de disminuir influencias de voltaje.

Software IPI2WIN: Para la instalación software es indispensable verificar la capacidad del ordenador, además de tener presente para que tipo de métodos permite obtener datos de cálculo de resistividad del suelo.

Medidor de Ph: Hay que revisar que la escala de medida este opta para la medición del valor de alcalinidad del suelo, además de situarlo en el lugar estratégico del estudio para verificar resultados idóneos.

Electrodos y picas: Es necesario tomar en cuenta que los electrodos estén libres de corrosión e impurezas; además de que, al momento de insertar los electrodos al piso, estos se dispongan de una forma vertical constante, además de verificar que las picas se inserten de igual forma que los electrodos.

Martillo: Utilizar un martillo de goma con el fin de no desgastar los electrodos al momento de insertarlos en el suelo; además que la fuerza sometida del martillo al electrodo tiene que ser minucioso y constante, con el fin de no torcer los electrodos.

- **Equipo de Protección Individual.**

Es indispensable utilizar la indumentaria necesaria y protectora para el operario, esta indumentaria está conformada por zapatos, casco y guantes dieléctricos, mandil de material aislante, gafas protectoras como indumentaria principal, con el fin de mitigar factores de riesgos y riesgos latentes en la toma mediciones de resistividad; aún más después de una situación climatológica adversa como la lluvia.

- **Análisis de gráficas.**

Curvas Gráficas: Al obtener resultados numéricos y gráficos, se debe tener en cuenta la disposición de la curva, puesto que su dimensionamiento, dependerá de la distancia de los electrodos; puesto que entre 1m y 10 m y 10 m y 100 m pueden dibujarse en similitud; si la curva presenta variaciones insignificantes demuestra que el terreno es heterogéneo; mientras que si presenta curvas más pronunciadas representa que el terreno tiene dos o más estratos superficiales.

Conclusiones

El valor de la resistencia en función de la profundidad del sistema puesta a tierra, determina el valor de la resistividad del suelo.

Las condiciones del terreno determinan la correcta medición de la resistividad del suelo.

Es recomendable la utilización del Telurómetro para determinar los rangos de caída de tensión y corriente para la determinación de la resistividad del suelo.

Los electrodos se disponen según el método empleado para el cálculo de la resistividad de un sistema de puesta a tierra, diferenciándose entre método la distancia y numero de electrodos.

Recomendaciones

Se debe utilizar diferentes direcciones para obtener promedios de obtención de datos y su cálculo respectivo.

Es imprescindible la utilización del EPI adecuado y completo para realizar las mediciones de resistividad del suelo.

Para terrenos arenosos se recomienda enterrar a mayor profundidad los electrodos, a fin de obtener una lectura clara de datos y un éxito análisis a priori.

TÉCNICAS DE MEDICIÓN

Técnica Electrodo Directamente a Tierra

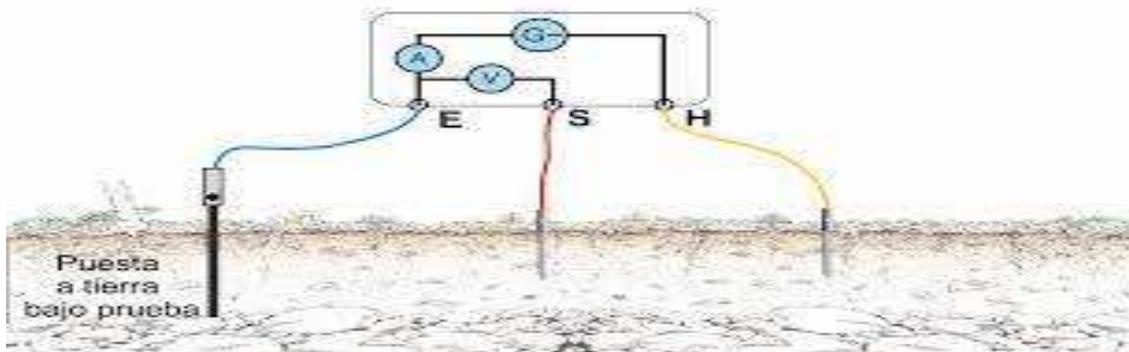
	FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS	Edición 1
	CARRERA DE ELECTRICIDAD <i>PROTOCOLO DE MEDICIÓN EN BASE A UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO</i>	Revisión 1
PROTOCOLO 1		FECHA: 27/12/23

TEMA: Técnica de medición por Electrodo directamente a Tierra

El operario podrá medir la resistividad del suelo con la utilización de 4 electrodos lineales.

INTRODUCCIÓN:

Esta técnica es utilizada en todos métodos de medición de resistividad del suelo, donde su aplicación y colocación es sencilla; pues los electrodos se insertan directamente al suelo a monitorear, obteniendo resultados de caída de voltaje después de haber suministrado corriente eléctrica.



MATERIALES Y EQUIPO:

Los materiales necesarios para la detección de la resistividad por este procedimiento son:

- **Cables:** Conductores de corriente los cuales permiten la conexión de los electrodos con el equipo de medición.
- **Electrodos:** Se emplean cuatro electrodos, los cuales se disponen a una distancia constante formando un arreglo equilibrado.
- **Instrumento de Medición:** Dispositivo encargado de medir la resistividad, el cual va conectado a los electrodos, el cual puede ser un telurómetro.
- **Fuente de Alimentación:** Suministro de corriente al circuito empleado.
- **Software:** Instrumento tecnológico digital para realizar los cálculos de los datos obtenidos.

ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA PRÁCTICA

Al emplearse este método se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Seguridad en el equipo de medición e inyección de corriente, los cuales deben tener un mantenimiento adecuado y sin deterioro, guiándose en las normas de seguridad que dicta el fabricante.
2. El entorno donde se realiza la práctica es fundamental de realizar una revisión de existencia de tuberías, soterraños u otras infraestructuras las cuales interfieran con las mediciones o representen riesgos de accidentes latentes.
3. La manipulación de electrodos debe realizarse bajo parámetros de precaución, con el fin de no representar riesgos por su instalación para individuos de la zona.
4. Las condiciones climatológicas adversas son factores a tomar en cuenta antes de realizar las mediciones respectivas de resistividad.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE DEBE UTILIZARSE PARA EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El Equipo de Protección Individual “EPI” que se debe utilizar es el siguiente:

- **Ropa de Protección:** Overoles, camisas o pantalones confeccionados con materiales aislantes no conductores; además de ser resistentes al fuego.
- **Zapatos Dieléctricos:** Debe de cumplir con estándares de resistencia eléctrica que proporcione una barrera entre el suelo y las extremidades inferiores del operario.
- **Guantes aislantes:** Deben de cumplir con la normativa y estándares de resistencia eléctrica.
- **Cascos dieléctricos:** Debe proteger la cabeza de impacto y choques eléctricos.
- **Gafas:** Protección visual en caso de chispas o arcos eléctricos.

PROCEDIMIENTO:

Se debe seguir los siguientes pasos:

1. Inspeccionar la zona del terreno a monitorear.
2. Asegurarse que no existan materiales u otros electrodos que puedan causar interferencia en la medición.
3. Preparar los materiales (Electrodos, Martillo, Cables, Equipo de Medición).
4. Insertar los electrodos en el suelo.
5. Realizar las conexiones de electrodos y equipo de medición.
6. Configure el medidor de parámetros eléctricos según lo estipula el fabricante.
7. Realizar la medición con los parámetros y rangos.
8. Se registran los datos de los valores obtenidos.
9. Comparar los resultados con las normativas legales vigentes en seguridad eléctrica.
10. Repetir el proceso con distancias distintas a las empleadas y con la misma posición.



Electrodos Incrustados en tierra

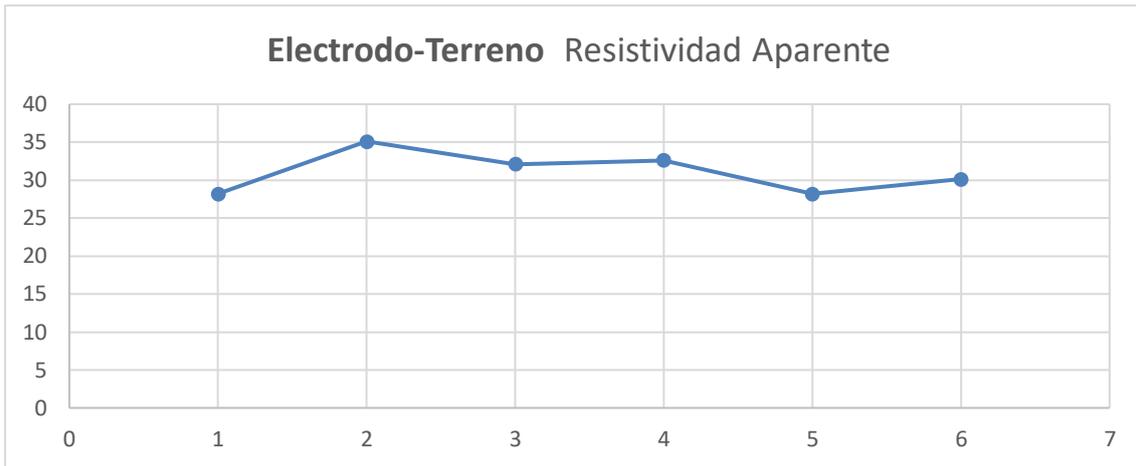


Telurómetro y electrodos

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos mediante este proceso son los siguientes:

Electrodo-Terreno		RESISTIVIDAD	
Fecha de medición: 3 de julio del 2023	Localidad: El Olivo- Ibarra- Imbabura-Ecuador	PH: 8,5	
Hora: 7 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI- DY4300	
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 19.3 °C	Frecuencia: Auto	
Ubicación: N00°21,4440' O 078°06,7386'	Humedad: Dry	Electrodos/Cables: 4 electrodos, 4 cables	
Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad Aparente ($\Omega \cdot m$)	
O°N	1	28,2	
	2	35,1	
	3	32,1	
	4	32,6	
	5	28,2	



Con los datos recolectados se evidencia en la gráfica que la resistividad del suelo propone una línea secuencial con altos y bajos en valores de $25(\Omega \cdot m)$ y $35(\Omega \cdot m)$ de resistencia en función de la distancia.

CONCLUSIÓN

Esta técnica es utilizada con los métodos de empleo de electrodos para medir la resistividad del suelo, donde su ubicación dependerá del tipo de suelo que se esté evaluado; así como también su profundidad.

RECOMENDACIÓN

Seguir los lineamientos de seguridad y repetir el proceso para obtener la gráfica de resistividad con relación a la distancia.

Técnica Electrodo con Placa Metálica

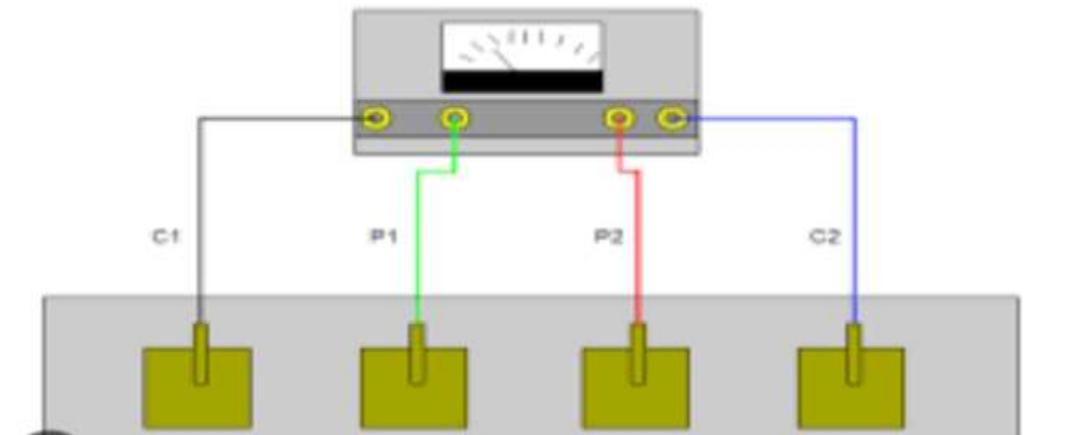
	FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS	Edición 2
	<u>CARRERA DE ELECTRICIDAD</u> <i>PROTOCOLO DE MEDICIÓN EN BASE A UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO</i>	Revisión 2
PROTOCOLO 2		FECHA: 27/12/23

TEMA: Técnica de medición por Electrodo con placa Metálica

El operario podrá medir la resistividad del suelo con la utilización de 4 electrodos lineales.

INTRODUCCIÓN:

Este tipo de técnica es empleado para medir resistividad en terrenos que no es posible utilizar electrodos enterrados al suelo, como por ejemplo sobre concreto; para lo que se emplea placas metálicas de forma horizontal, las cuales sitúan sobre la superficie del suelo a monitorear



MATERIALES Y EQUIPO:

Los materiales necesarios para la detección de la resistividad por este procedimiento son:

- **Cables:** Conductores de corriente los cuales permiten la conexión de los electrodos con el equipo de medición.
- **Electrodos:** Se emplean cuatro electrodos, los cuales se disponen a una distancia constante formando un arreglo equilibrado.
- **Placa Metálica:** Lamina de acero inoxidable o cobre.
- **Instrumento de Medición:** Dispositivo encargado de medir la resistividad, el cual va conectado a los electrodos, el cual puede ser un telurómetro.
- **Fuente de Alimentación:** Suministro de corriente al circuito empleado.
- **Software:** Instrumento tecnológico digital para realizar los cálculos de los datos obtenidos.

ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA PRÁCTICA

Al emplearse este método se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Seguridad en el equipo de medición e inyección de corriente, los cuales deben tener un mantenimiento adecuado y sin deterioro, guiándose en las normas de seguridad que dicta el fabricante.
2. El entorno donde se realiza la práctica es fundamental de realizar una revisión de existencia de tuberías, soterraños u otras infraestructuras las cuales interfieran con las mediciones o representen riesgos de accidentes latentes.
3. La manipulación de electrodos debe realizarse bajo parámetros de precaución, con el fin de no representar riesgos por su instalación para individuos de la zona.
4. Las condiciones climatológicas adversas son factores a tomar en cuenta antes de realizar las mediciones respectivas de resistividad.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE DEBE UTILIZARSE PARA EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El Equipo de Protección Individual “EPI” que se debe utilizar es el siguiente:

- **Ropa de Protección:** Overoles, camisas o pantalones confeccionados con materiales aislantes no conductores; además de ser resistentes al fuego.
- **Zapatos Dieléctricos:** Debe de cumplir con estándares de resistencia eléctrica que proporcione una barrera entre el suelo y las extremidades inferiores del operario.
- **Guantes aislantes:** Deben de cumplir con la normativa y estándares de resistencia eléctrica.
- **Cascos dieléctricos:** Debe proteger la cabeza de impacto y choques eléctricos.
- **Gafas:** Protección visual en caso de chispas o arcos eléctricos.

PROCEDIMIENTO:

Se debe seguir los siguientes pasos:

1. Inspeccionar la zona del terreno a monitorear.
2. Asegurarse que no existan escombros u objetos que interfieran el procedimiento de medición.
3. Preparar los materiales (Electrodos, Placa metálica, Cables, Equipo de Medición).
4. Colocar la placa metálica de manera horizontal y que tenga contacto directo con el suelo.
5. Realizar las conexiones de placa metálica y equipo de medición.
6. Configure el medidor de parámetros eléctricos según lo estipula el fabricante.
7. Realizar la medición con los parámetros y rangos, aplicando corriente a la placa metálica.

8. Registrar los datos de los valores obtenidos.
9. Comparar los resultados con las normativas legales vigentes en seguridad eléctrica.
10. Repetir el proceso con distancias distintas a las empleadas y con la misma posición.



Electrodos Incrustados en tierra



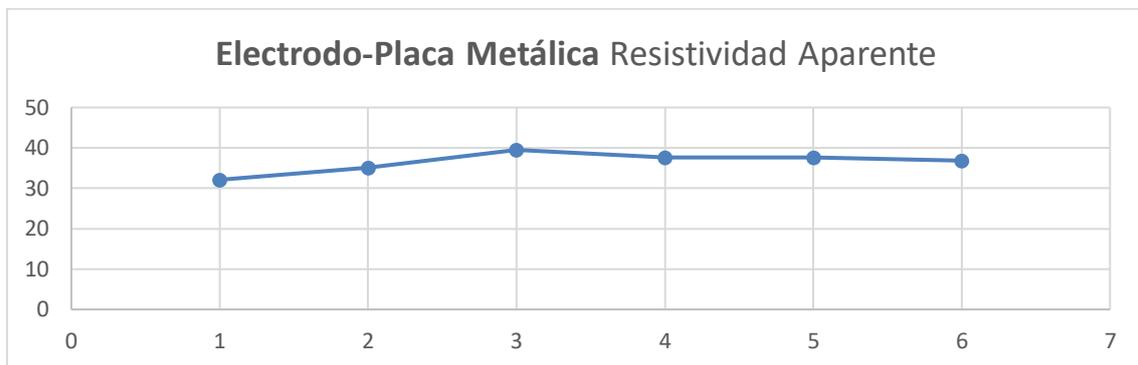
Telurómetro y electrodos

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos mediante este proceso son los siguientes:

Electrodo-Placa Metálica		RESISTIVIDAD
Fecha de medición: 3 de julio del 2023	Localidad: El Olivo- Ibarra- Imbabura-Ecuador	PH: 8,5
Hora: 7 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI- DY4300
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 19.3 °C	Frecuencia: Auto
Ubicación: N00°21,4440' O 078°06,7386'	Humedad: Dry	Electrodos/Cables: 4 electrodos, 4 cables

Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad Aparente ($\Omega \cdot m$)
O°N	1	32,1
	2	35,1
	3	39,5
	4	37,6
	5	37,6



Con los datos recolectados se evidencia en la gráfica que la resistividad del suelo propone una línea secuencial con altos y bajos en valores de $30(\Omega \cdot m)$ y $40(\Omega \cdot m)$ de resistencia en función de la distancia, lo que denota una semirrecta de ponderación.

CONCLUSIÓN

Esta técnica es utilizada con los métodos de empleo de electrodos para medir la resistividad del suelo, donde su ubicación dependerá del tipo de suelo que se esté evaluado; así como también su profundidad.

RECOMENDACIÓN

Seguir los lineamientos de seguridad y repetir el proceso para obtener la gráfica de resistividad con relación a la distancia con valores idóneos de un sistema puesta a tierra.

Técnica Electrodo con Franela Húmeda

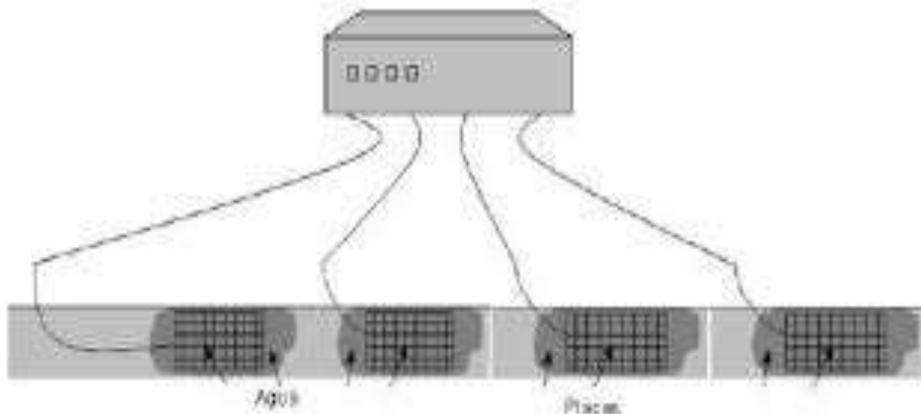
	FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS	Edición 3
	<u>CARRERA DE ELECTRICIDAD</u> <i>PROTOCOLO DE MEDICIÓN EN BASE A UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO</i>	Revisión 3
PROTOCOLO 3		FECHA: 27/12/23

TEMA: Técnica de medición por Electrodo directamente a Tierra

El operario podrá medir la resistividad del suelo con la utilización de 4 electrodos lineales.

INTRODUCCIÓN:

Esta técnica es utilizada en todos métodos de medición de resistividad del suelo, donde su aplicación consiste en aplicación de una franela húmeda como conductor de energía con el fin de establecer contacto entre el suelo y el electrodo.



MATERIALES Y EQUIPO:

Los materiales necesarios para la detección de la resistividad por este procedimiento son:

- **Cables:** Conductores de corriente los cuales permiten la conexión de los electrodos con el equipo de medición.
- **Electrodos:** Se emplean cuatro electrodos, los cuales se disponen a una distancia constante formando un arreglo equilibrado.
- **Franela:** Se utiliza un paño húmedo sin existencia de agua en goteo.
- **Instrumento de Medición:** Dispositivo encargado de medir la resistividad, el cual va conectado a los electrodos, el cual puede ser un telurómetro.
- **Fuente de Alimentación:** Suministro de corriente al circuito empleado.
- **Software:** Instrumento tecnológico digital para realizar los cálculos de los datos obtenidos.

ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA PRÁCTICA

Al emplearse este método se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Seguridad en el equipo de medición e inyección de corriente, los cuales deben tener un mantenimiento adecuado y sin deterioro, guiándose en las normas de seguridad que dicta el fabricante.
2. El entorno donde se realiza la práctica es fundamental de realizar una revisión de existencia de tuberías, soterraños u otras infraestructuras las cuales interfieran con las mediciones o representen riesgos de accidentes latentes.
3. La manipulación de electrodos debe realizarse bajo parámetros de precaución, con el fin de no representar riesgos por su instalación para individuos de la zona.
4. Las condiciones climatológicas adversas son factores a tomar en cuenta antes de realizar las mediciones respectivas de resistividad.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE DEBE UTILIZARSE PARA EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El Equipo de Protección Individual “EPI” que se debe utilizar es el siguiente:

- **Ropa de Protección:** Overoles, camisas o pantalones confeccionados con materiales aislantes no conductores; además de ser resistentes al fuego.
- **Zapatos Dieléctricos:** Debe de cumplir con estándares de resistencia eléctrica que proporcione una barrera entre el suelo y las extremidades inferiores del operario.
- **Guantes aislantes:** Deben de cumplir con la normativa y estándares de resistencia eléctrica.
- **Cascos dieléctricos:** Debe proteger la cabeza de impacto y choques eléctricos.
- **Gafas:** Protección visual en caso de chispas o arcos eléctricos.

PROCEDIMIENTO:

Se debe seguir los siguientes pasos:

1. Inspeccionar la zona del terreno a monitorear.
2. Asegurarse que no existan escombros u objetos que interfieran el procedimiento de medición.
3. Preparar los materiales (Electrodos, Franela Húmeda, Cables, Equipo de Medición).
4. Mojar y escurrir la franela; hasta un punto donde no exista goteo de líquido.
5. Coloque la franela húmeda en contacto de la superficie del suelo.
6. Conecte el electrodo con los cables adecuados al equipo de medición.
7. Configure el medidor de parámetros eléctricos según lo estipula el fabricante.
8. Realizar la medición con los parámetros y rangos recomendados por el fabricante.

9. Registrar los datos de los valores obtenidos.

10. Repetir el proceso con distancias distintas a las empleadas y con la misma posición.



Electrodos Incrustados en tierra

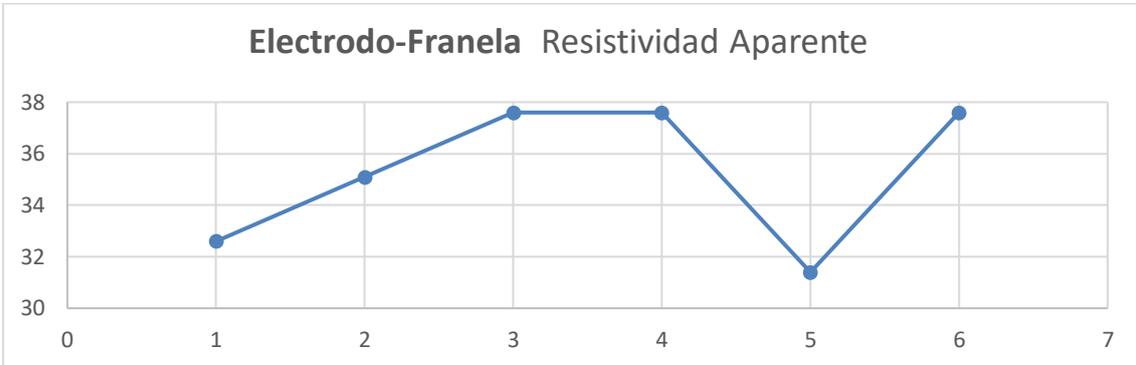
Telurómetro y electrodos

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos mediante este proceso son los siguientes:

Electrodo-Franela		RESISTIVIDAD	
Fecha de medición: 3 de julio del 2023	Localidad: El Olivo- Ibarra- Imbabura-Ecuador	PH: 8,5	
Hora: 7 a.m.	flora: Si, no abundante.	Equipo: DUOYI- DY4300	
Empresa: Universidad Técnica del Norte	Temperatura: 19.3 °C	Frecuencia: Auto	
Ubicación: N00°21,4440' O 078°06,7386'	Humedad: Dry	Electrodos/Cables: 4 electrodos, 4 cables	
Sentido de la medición	Separación "a" entre los electrodos (m)	Resistividad Aparente (Ω*m)	
O°N	1	32,6	
	2	35,1	
	3	37,6	

	4	37,6
	5	31,4



Se refleja una caída en la resistividad a una distancia de 5 metros con $31.4(\Omega \cdot m)$, lo que evidencia una tendencia a subir la resistencia según la distancia; focalizando una repentina caída de pico, producto de la composición de área.

CONCLUSIÓN

La utilización de esta técnica se utiliza cuando no se disponga de otros equipos especializados para el monitoreo de la resistividad, o en varios casos para una medición rápida con valores aproximados de este factor a medir.

RECOMENDACIÓN

Seguir los lineamientos de seguridad y repetir el proceso para obtener la gráfica de resistividad con relación a la distancia con valores idóneos de un sistema puesta a tierra; además de verificar que la franela este húmeda y no mojada.

Tabla comparativa entre Técnicas

TÉCNICAS PARA CALCULAR LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD

	<i>Técnica de Electrodo directamente a tierra</i>	<i>Técnica de Electrodo con placa metálica</i>	<i>Técnica de Electrodo con franela húmeda</i>
Aplicación	Empleado en superficies horizontales y verticales.	Empleado en estructuras geológicas complejas.	Áreas selectas donde su configuración para obtener contacto entre el electrodo y el suelo
Tipo de suelo	Enterrado directamente al suelo	En superficies de concreto y tierra	En superficies de concreto y tierra
Disposición de Electrodos	Según el método a utilizar para la medición	Según el método a utilizar para la medición	Según el método a utilizar para la medición
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodos • Martillo • Cables • Equipo de medición 	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodos • Placas Metálicas • Cables • Equipo de medición 	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodos • Franela o Pañuelo • Cables • Equipo de medición

Conclusiones

La utilización de las técnicas de medición dispuestas anteriormente, permiten percibir, calcular y analizar datos característicos de la resistividad de la superficie del suelo y subsuelo en un área determinada, facultando la factibilidad de la inserción del sistema de tierra en infraestructuras.

Dependiendo de las características del suelo se faculta la utilización de cada técnica de recolección de datos, donde es imprescindible en toma de resistividad sobre concreto la utilización de la técnica de electrodo con placa metálica y electrodo con franela húmeda; por las propiedades del mismo concreto y con visión a obtener un cálculo eficaz y veraz para un sistema de puesta a tierra.

Recomendaciones

Es recomendable utilizar materiales acordes al terreno donde se va a realizar la medición de resistividad, con el fin de evitar datos erróneos al momento del cálculo de la resistividad del suelo.

Se debe realizar distintas tomas de datos en torno a la resistividad captada; puesto que estos valores facultaran en un buen cálculo de la resistividad, con el fin de establecer una toma a tierra de cualquier infraestructura.

Anexo 2

Instalación de electrodos en el terreno



Anexo 3

Medición de separación entre placas.



Anexo 4

Medición de electrodos sobre placas



Anexo 5

Medición de electrodos con franela húmeda



Anexo 6

Planificación



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
PLANIFICACIÓN – TRABAJO DE TITULACIÓN II



Estudiante: Vallejos Cadena Jordan Alexander

Tutor: Ing. Ramiro Vásquez.

Tema	Fecha y Hora	Firma
Propuesta de protocolo de medición en base a un estudio comparativo de los métodos para el cálculo de la resistividad del terreno.	Viernes, 26 de mayo de 2023 / 17H30	
	Viernes, 9 de junio de 2023 / 17H30	
	Viernes, 16 de junio de 2023 / 17H30	
	Viernes, 23 de junio de 2023 / 17H30	
	Viernes, 14 de julio de 2023 / 17H30	
	Viernes, 29 de julio de 2023 / 17H30	
	Viernes, 1 de Septiembre de 2023 / 17H30	
	Viernes, 15 de Septiembre de 2023 / 17H30	
	Viernes, 28 de Septiembre de 2023 / 17H30	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

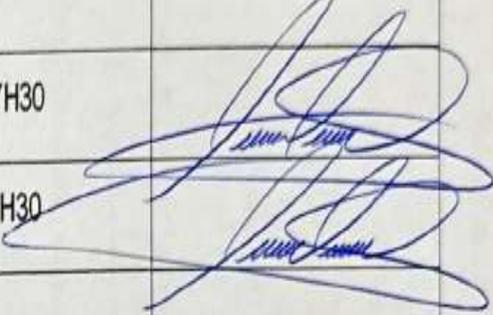
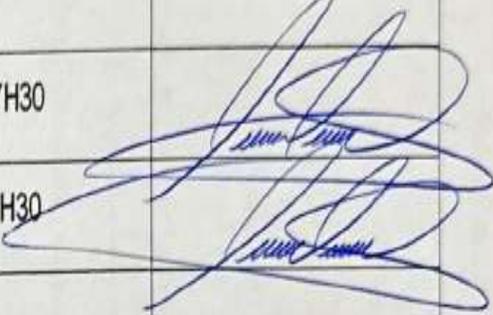
PLANIFICACIÓN – TRABAJO DE TITULACIÓN II

Estudiante: Vallejos Cadena Jordan Alexander

Tutor: Ing. Ramiro Vásquez.

Tema	Fecha y Hora	Firma
Propuesta de protocolo de medición con base a un estudio comparativo de los métodos para el cálculo de la resistividad del terreno.	Viernes, 13 de octubre de 2023 / 17H30	
	Viernes, 20 de octubre de 2023 / 17H30	
	Viernes, 17 de noviembre de 2023 / 17H30	
	Viernes, 24 de noviembre 2023/17H30	
	Martes, 2 de enero 2024/17H30	
	Viernes, 5 de enero 2024 / 17H30	
	Sábado, 13 de enero 2024 / 17H30	
	Viernes, 19 de enero 2024 / 17H30	



Tema	Fecha y Hora	Firma
Propuesta de protocolo de medición con base a un estudio comparativo de los métodos para el cálculo de la resistividad del terreno.	Viernes, 26 de enero 2024 / 17H30	
	Martes, 30 de enero 2024 / 17H30	

Anexo 7

Mediciones 1



Anexo 8

Mediciones 2



Anexo 9

Mediciones 3



Anexo 10

Mediciones 4



Anexo 11

Certificación del tutor

CERTIFICACIÓN

Ing. Flores Haro Franklin Ramiro Msc

TUTOR DE TESIS

Universidad Técnica del Norte

CERTIFICA:

Que el señor Jordan Alexander Vallejos Cadena ha trabajado bajo mi tutoría la presente tesis, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, la misma que en el capítulo 1 cumple con un porcentaje de avance del 70 %, de acuerdo con la última revisión hecha el día 14/02/2022.



Firma

Ibarra, 14 de febrero de 2022

Anexo 12

Ficha de Seguimiento



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FICHA DE SEGUIMIENTO – TRABAJO DE TITULACIÓN II

Tema: Propuesta de protocolo de medición con base a un estudio comparativo de los métodos para el cálculo de la resistividad del terreno.

Estudiante: Vallejos Cadena Jordan Alexander

Tutor: Ing. Ramiro Vásquez

Tema de revisión	Sugerencias	Fecha y Hora	Firma
Revisar capítulo 1	Explicar parámetros de resistividad	26/05/23	
Revisar capítulo 2	No especificar el lugar de estudio UTN	09/05/23	
Revisar capítulo 2	Revisar los datos que se ingresa al telurómetro	16/06/2023	
Revisar capítulo 2	Adquisición de datos de resistividad	23/06/2023	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FICHA DE SEGUIMIENTO – TRABAJO DE TITULACIÓN II

Tema: Propuesta de protocolo de medición con base a un estudio comparativo de los métodos para el cálculo de la resistividad del terreno.

Estudiante: Vallejos Cadena Jordan Alexander

Tutor: Ing. Ramiro Vásquez

Tema de revisión	Sugerencias	Fecha y Hora	Firma
Revisar capítulo 2	Calcular el error de medición	14/07/23	
Revisar capítulo 2	Mejorar presentación de las tablas	29/07/23	
Revisar capítulo 2	Revisar e implementar medición en concreto	01/09/2023	
Revisar capítulo 2	Realizar una grafica de todas las mediciones	15/09/2023	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FICHA DE SEGUIMIENTO – TRABAJO DE TITULACIÓN II

Tema: Propuesta de protocolo de medición con base a un estudio comparativo de los métodos para el cálculo de la resistividad del terreno.

Estudiante: Vallejos Cadena Jordan Alexander

Tutor: Ing. Ramiro Vásquez

Tema de revisión	Sugerencias	Fecha y Hora	Firma
Revisar capítulo 3	Redactar y mejorar la ortografía	28/09/23	
Revisar capítulo 3	Revisar el orden correcto del protocolo	13/10/23	
Revisar capítulo 3	Revisar la redacción en primera persona	20/10/2023	
Revisar capítulo 3	Revisar primera persona en todo el documento y cambiar los términos picas por electrodos	17/11/2023	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FICHA DE SEGUIMIENTO – TRABAJO DE TITULACIÓN II

Tema: Propuesta de protocolo de medición con base a un estudio comparativo de los métodos para el cálculo de la resistividad del terreno.

Estudiante: Vallejos Cadena Jordan Alexander

Tutor: Ing. Ramiro Vásquez

Tema de revisión	Sugerencias	Fecha y Hora	Firma
Revisar capítulo 3	Revisar que significa p, h y D en el simulador	24/11/23	
Revisar capítulo 3	Cambiar la tabla de Seguridad	02/01/2024	
Revisar Manual	Añadir el procedimiento	05/01/2024	
Revisar Manual	Mejorar las imágenes	13/01/2023	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FICHA DE SEGUIMIENTO – TRABAJO DE TITULACIÓN II

Tema: Propuesta de protocolo de medición con base a un estudio comparativo de los métodos para el cálculo de la resistividad del terreno.

Estudiante: Vallejos Cadena Jordan Alexander

Tutor: Ing. Ramiro Vásquez

Tema de revisión	Sugerencias	Fecha y Hora	Firma
Manual	Cambiar la interpretación de 5 a 2 capas porque la segunda tiende al infinito	19/01/2024	
Revisar capítulo 2	Mejorar la redacción de las conclusiones y hacer en base a los objetivos	26/01/2024	