

**ANÁLISIS DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO MODELADO A UNA
CAPA CON EQUIPO TELUROMETRO MEGABRAS MTD20KWR**

**BUESAQUILLO ARTEAGA JHONATAN STIVEN
GARCIA TABORDA KEVIN SANTIAGO**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA TECNOLOGÍA
ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2024**

**ANÁLISIS DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO MODELADO A UNA
CAPA CON EQUIPO TELUROMETRO MEGABRAS MTD20KWR**

**BUESAQUILLO ARTEAGA JHONATAN STIVEN
GARCIA TABORDA KEVIN SANTIAGO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE TECNÓLOGOS
ELECTRICISTAS.**

**ASESOR:
BAYRON ALVAREZ ARBOLEDA
Dr. EN ESTUDIOS ORGANIZACIONALES**

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

**FACULTAD DE INGENIERÍA TECNOLOGÍA
ELÉCTRICA**

MEDELLÍN

2024

TABLA DE CONTENIDO

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
	1.1. Descripción	9
	1.2. Formulación	10
2.	JUSTIFICACIÓN	11
3.	OBJETIVOS	12
	3.1 Objetivo general	12
	3.2 Objetivos específicos	12
4.	MARCO TEÓRICO.....	14
	4.1 Objetivos del sistema de puesta a tierra	14
	4.2 Tipos de puesta a tierra	15
	4.2.1 Puesta a tierra para sistemas eléctricos	15
	4.2.2 Puesta a tierra en equipos eléctricos.....	15
	4.3 Composición del terreno	15
	4.4 Resistividad del terreno.....	16
	4.5 Resistividad por el método de los 4 Polos	17
	4.6 Características del método de Wenner.....	18
	4.7 Aplicaciones del telurómetro	20
5	METODOLOGÍA	22
	5.1 Modalidad explicativa.....	22
	5.2 Método	22
	5.3 Población y muestra.....	23
	5.4 Instrumentos de recolección de información.	23
	5.4.1 Fuentes primarias	23

		4
	5.4.2 Fuentes secundarias.....	23
6	RESULTADOS DEL PROYECTO.....	24
6.1	Guía conceptual de aspectos clave.....	24
6.1.1	Fundamentos del sistema de puesta a tierra	25
6.1.2	Tipos de puesta a tierra.....	25
6.1.3	Composición del terreno	26
6.1.4	Resistividad del terreno.....	26
6.1.5	Método de Wenner, 4 Polos	26
6.1.6	Características del método de Wenner:.....	27
6.1.7	Operación del telurómetro Megabras MTD20KWR.....	27
6.1.8	Consideraciones para la medición con el equipo	28
6.2	Instructivo practico de mediciones	29
6.2.1	Medición de resistividad especifica de terreno – Método Wenner	29
6.2.2	Medición de resistencia de puesta a tierra.....	33
6.2.3	Medición de tensiones espurias	36
6.3	Descripción técnica del proyecto.....	37
6.3.1	Características telurómetro MTD20KWR.	38
6.3.2	Accesorios incluidos.	39
7.	CONCLUSIONES	40
8.	RECOMENDACIONES.....	41
9.	BIBLIOGRAFÍA	42
10.	ANEXOS	43
10.1	Presupuesto	43
10.2	Equipos y accesorios.....	43
10.3	Guía práctica experimental:	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	16
Efectos de la corriente en el cuerpo humano	16
Figura 2.	17
Disposición de electrodos	17
Figura 3.	20
Arreglo método de Wenner.....	20
Ecuación 1.	20
Frecuencia de operación	21
Figura 4.	27
Electrodos Método de Winner	27
Figura 5.	29
Conexión de equipo método de cuatro polos (Winner)	29
Figura 6.	30
Método cuatro picas (Winner)	30
Figura 7.	30
Test (Medir)	30
Figura 8.	31
Resultado método cuatro polos.....	31
Ecuación 2.	31
Ecuación Wenner Simplificada.....	31
Figura 9.	32
Disposición de cables método de Wenner cuatro picas	32
Ecuación 3.	33
Ecuación Wenner completa	33
Figura 10.	34
Arreglo método tres picas	34
Figura 11.	35
Método de tres picas	35
Figura 12.	35
Test (Medir)	35
Figura 13.	36
Resultado método de tres polos	36
Figura 14.	36
Tecla que se debe pulsar	36
Figura 15.	37
Medición tensiones espurias	37
Tabla 1.	43
Tabla de presupuesto.....	43
Figura 16.	43
MTD20KWR Telurómetro Megabras --- COSTO 1.041 USD (Equipo de Importación)	43

Figura 17.	43
Lienza o decámetro en fibra de vidrio Truper 50 Metros --- \$116.700	44
Figura 18.	44
Almádana 4 fibras mango en madera 12" truper --- \$69.850.....	44

ABSTRACT

Electricians must possess the necessary skills and competencies to measure the resistance of grounding systems, which are essential for the protection of both people and equipment in electrical installations. This need is the foundation of the project titled "Analysis of Soil Resistivity Modeled to a Layer Using Megabras MTD20KWR Earth Tester," aimed at deepening and complementing the concepts and competencies covered in courses such as Electrical Analysis, Electrical Installations, and Power Quality. The problem arises from the lack of interactive learning resources that allow students to fully and practically grasp the concepts related to the measurement and analysis of ground resistance. Despite the growing importance of these topics in the industry, educational institutions often lack specialized equipment to provide hands-on experience in these areas. The absence of modern, practical-focused teaching resources hinders the development of essential skills for future electrical engineers. Theoretical instruction, without practical and experimental application, may result in graduates who are ill-equipped to address real-world challenges in grounding system analysis. Therefore, this project emphasizes the need for the development of a theoretical guide and the provision of a Megabras MTD20KWR tester for hands-on experimentation, aiming to enhance the education of professionals in the field of soil resistivity analysis. The project will be designed to be accessible and adaptable to various educational environments, leveraging modern technologies to ensure effective and comprehensive training in the electrical field.

INTRODUCCIÓN

La determinación precisa de la resistividad del terreno es esencial en diferentes aplicaciones geotécnicas y de ingeniería. En este contexto, el uso de tecnologías avanzadas como el telurómetro Megabras MTD20KWR se presenta como una herramienta práctica y precisa para realizar de manera detallada dichas mediciones. El presente proyecto se enfoca en el análisis de resistividad del terreno mediante la modelación a una capa utilizando este equipo de vanguardia. A través de esta investigación, se busca profundizar en el entendimiento de las características eléctricas del suelo, con el objetivo de proporcionar información crucial para el área de ingeniería eléctrica. En este sentido, este proyecto representa un paso significativo hacia la comprensión mas completa y precisa del comportamiento eléctrico del terreno y sus implicaciones en una amplia gama de aplicaciones prácticas, mediante la construcción de una guía e instructivo teórico que garantice la profundización de conceptos previamente vistos en las asignaturas de análisis eléctricos, instalaciones eléctricas y calidad de energía, todo esto acompañado de la entrega del telurómetro Megabras MTD20KWR que permita la interacción y aplicación práctica de dichos conocimientos teóricos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción

Los profesionales electricistas deben tener las competencias y habilidades necesarias para realizar mediciones de resistencia de un sistema de puesta a tierra, el cual es fundamental en todos los sistemas eléctricos para la protección tanto de personas como de equipos y elementos, partiendo de esta necesidad se plantea el proyecto “Análisis De Resistividad Del Terreno Modelado A Una Capa Con Equipo Telurómetro Megabras MTD20KWR” para profundizar, apoyar y complementar los conceptos y competencias brindadas en las asignatura Análisis de Eléctricos, Instalaciones Eléctricas y Calidad de la Energía.

El planteamiento del problema radica en la falta de recursos y herramientas de aprendizaje interactivas adecuadas que permitan a los estudiantes comprender de manera completa y práctica los conceptos relacionados con la medición y análisis de resistividad de sistemas de puestas a tierra. A pesar de la creciente importancia de estos temas en la industria, las instituciones educativas carecen de equipos especializados diseñados para brindar una comprensión práctica aplicada de estos conceptos. La falta de recursos didácticos modernos con enfoque práctico obstaculiza el desarrollo de habilidades relevantes para los futuros ingenieros en el campo eléctrico. La enseñanza basada en la teoría sin una aplicación práctica y experimental puede resultar en graduados que carecen de las competencias necesarias para abordar los desafíos del mundo real en el análisis de resistividad de puestas a tierra.

Por lo tanto, es esencial abordar este problema partiendo de la necesidad de desarrollar un

instructivo teórico, acompañado de la entrega de un telurómetro Megabras MTD20KWR para la experimentación práctica necesaria para mejorar la formación de profesionales en el campo de análisis de resistividad de sistemas de puesta a tierra. El proyecto debe ser diseñado para ser accesible y adaptable a diferentes entornos educativos, aprovechando la tecnología y herramientas modernas que proporcionan una formación efectiva y garantizada en el campo eléctrico.

1.2. Formulación

¿Cómo desarrollar una guía práctica para la medición y análisis de resistividad del terreno modelado a una capa con equipo telurómetro de cuatro (4) puntas Megabras MTD20KWR mediante el método de Wenner?

2. JUSTIFICACIÓN

La justificación primeramente radica en la importancia de las habilidades y competencias teórico-prácticas de los profesionales, el estudio de la resistividad del terreno es de suma importancia en diversas áreas de la ingeniería eléctrica, ya que proporciona información crucial sobre las propiedades del suelo y su capacidad para conducir corrientes eléctricas. El método de Wenner, aplicado mediante un telurómetro, es una técnica ampliamente utilizada para determinar la resistividad del suelo de manera eficiente y precisa. Este proyecto de grado se centra en analizar y modelar la resistividad del terreno a una capa utilizando el método de Wenner, con el objetivo de comprender mejor las características del subsuelo y su relevancia en diferentes aplicaciones.

Las limitaciones actuales en la enseñanza tradicional, la enseñanza basada en teoría y poca aplicación práctica, a menudo no satisface las necesidades de los estudiantes ni les brinda una comprensión conceptual profunda. Una guía práctica acompañada de un equipo telurómetro puede abordar estas problemáticas o limitaciones al proporcionar un entorno de aprendizaje experimental que involucre a los estudiantes de manera activa, lo que resulta en una significativa mejora de conocimientos y habilidades, finalmente lo que es la flexibilidad, los telurómetros pueden ser utilizados en gran variedad de entornos, tanto educativos en instituciones, hasta en zonas de capacitación y experimentación práctica en campos de trabajo, esto se resume en un amplio alcance de público, desde estudiantes en formación hasta profesionales que buscan complementar sus conocimiento y habilidades.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Desarrollar una guía práctica para medición y análisis de resistividad del terreno modelado a una capa con equipo telurómetro de cuatro puntas Megabras MTD20KWR mediante el método de Wenner.

3.2 Objetivos específicos

- Diseñar un manual con los fundamentos y principios teóricos del método Wenner para la medición de resistividad del terreno modelado a una capa con equipo telurómetro de cuatro (4) puntas, que incluya la guía práctica a desarrollar, así como recomendaciones para la interpretación de resultados y la aplicación del método de Wenner en proyectos de ingeniería.
- Identificar y seleccionar los parámetros clave a considerar durante la medición de resistividad del terreno, incluyendo la distancia entre electrodos, la configuración del arreglo de electrodos y la corrección de datos.
- Desarrollar un instructivo paso a paso para la realización de mediciones de resistividad del terreno utilizando el método de Wenner mediante el telurómetro de cuatro puntas, incluyendo la configuración del equipo Megabras MTD20KWR y la adquisición de datos e información para adquirir informes automáticos, tanto desde el software en equipos de cómputo, como mediante la interfaz de comunicación bluetooth BlueLogg que permite la manipulación remota del equipo desde un

celular o dispositivos smartphone y Android.

- Establecer criterios para la evaluación de la calidad de los datos obtenidos durante las mediciones, considerando la precisión, la veracidad y la consistencia de los resultados obtenidos para minimizar el margen de error.
- Implementar técnicas de procesamiento y análisis de datos para interpretar los resultados de las mediciones de resistividad del terreno mediante el software de comunicación del equipo Megabras MTD20KWR.

4. MARCO TÉORICO

Los sistemas de puestas a tierra tienen como principio lograr que las instalaciones eléctricas en conjunto con las estructuras, edificaciones y superficies próximas al terreno no representen ningún tipo de riesgo para los seres humanos y a su vez permitir y direccionar a tierra el paso de corrientes de fallas bien sean del mismo sistema o descargas de tipo atmosféricas.

La puesta tierra se implementa principalmente para limitar la tensión que con respecto a tierra se pueda presentar en las partes metálicas presentes en las instalaciones, asegurando el accionamiento de las protecciones y así mismo disminuir los peligros que suponen fallas en el aislamiento de la instalación. En el caso de las descargas o fallas en el sistema se puede garantizar con los sistemas de puestas a tierra que gran parte de estas será direccionada a tierra, la otra parte puede ingresar en el sistema, sin embargo, si se tiene un buen sistema de protecciones debidamente calculadas no debe representar un daño significativo en el sistema como tal.

4.1 Objetivos del sistema de puesta a tierra

- Brindar seguridad y protección a los seres humanos y a la naturaleza.
- Proteger la instalación en general, tanto los elementos presentes en el sistema como las cargas conectadas al mismo sistema.
- Garantizar la continua y segura operación del sistema.
- Garantizar un potencial de referencia, al estabilizar la red eléctrica respecto a tierra bajo condiciones normales de operación.
- Direccionar a tierra las fallas eléctricas del sistema, las descargas atmosféricas y cargas

estáticas generadas en condiciones anormales de operación limitando la sobrecarga o sobretensiones generadas.

4.2 Tipos de puesta a tierra

4.2.1 Puesta a tierra para sistemas eléctricos

El propósito de aterrizar a tierra los sistemas eléctricos es el de limitar cualquier sobre tensión resultante de alguna descarga atmosférica, fenómenos de inducción o algún contacto involuntario entre conductores eléctricos de un mayor voltaje. Esto se realiza mediante un conductor adecuado a la corriente de falla a tierra total del sistema.

4.2.2 Puesta a tierra en equipos eléctricos

La finalidad principal de este sistema es la de eliminar las corrientes de paso o de toque que pueden poner en peligro la vida de las personas y los mismos equipos, son utilizados para conectar a tierra todos los equipos y elementos de la instalación que en condiciones normales no están sujetos a una inyección de potencial, por ejemplo, las carcasas metálicas y chasis de equipos, que pueden tener diferencia de potencial con respecto a tierra.







4.3 Composición del terreno

La composición del terreno depende de las condiciones físicas presentes, la calidad y cantidad de las sales minerales influyen significativamente en la resistividad del terreno. Los terrenos húmedos o arcillosos son los que presentan resistividades más bajas y un menor grado de

variación en el tiempo, mientras que los terrenos secos, arenosos y rocosos presentan resistividades muy altas y su variación es muy elevada en función de la temperatura y la humedad presente en el ambiente, en estos casos se debe de intervenir el terreno con productos químicos para acondicionar sus características según las necesidades.

Figura 1.

Efectos de la corriente en el cuerpo humano

EFECTOS DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE		
	Umbral de percepción De 1 a 3 mA	No existe peligro y el contacto se puede mantener sin problemas.
	Electrización De 3 a 10 mA	Produce una sensación de hormigueo. Puede provocar movimientos reflejos.
	Tetanización >10 mA	El paso de la corriente provoca contracciones musculares y la paralización de los músculos de las manos y de los brazos, impidiendo soltar los objetos.
	Paro respiratorio >25 mA	Si la corriente atraviesa el cerebro puede afectar al centro nervioso respiratorio.
	Asfixia De 25 a 30 mA	Si la corriente atraviesa el tórax se puede producir la tetanización del diafragma, impidiéndose el movimiento de los músculos de los pulmones.
	Fibrilación ventricular De 60 a 75 mA	Si la corriente atraviesa el corazón se descontrola el ritmo cardíaco.

Fuente: Extraído de (Umaker, 2024)

4.4 Resistividad del terreno

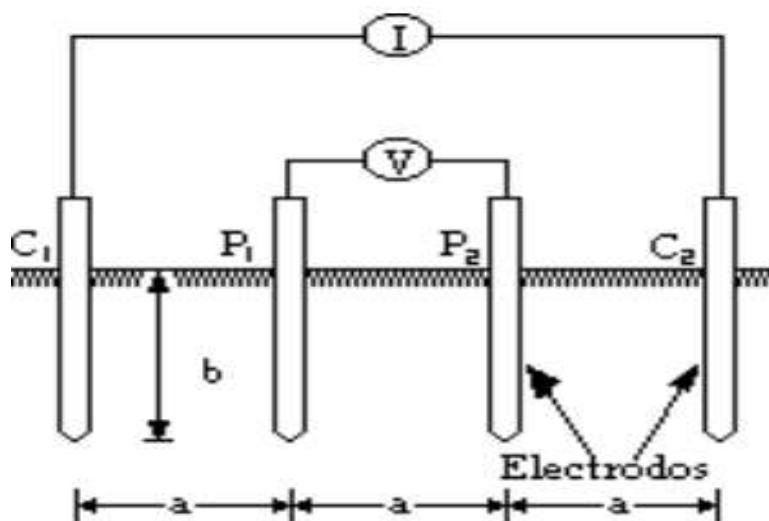
La resistividad del terreno corresponde a la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica, es a su vez el aspecto más importante en los sistemas de puesta a tierra. En su análisis se promedian las diferentes capas que componen el terreno ya que estos en su mayoría no suelen ser uniformes; este promedio de medidas obtenidas a diferentes distancias se conoce como Resistividad Aparente Del Terreno.

4.5 Resistividad por el método de los 4 Polos

El método de Wenner o método de los 4 electrodos es el más preciso para realizar la medición de resistividad del terreno, diseñado en 1915 por Frank Wenner esta metodología de estudio del terreno nos indica que los electrodos C_1 y C_2 corresponden a la fuente de inyección de corriente y los electrodos P_1 y P_2 corresponden a los electrodos de medición de potencia, la separación entre electrodos debe ser equidistante para una lectura confiable. La medida obtenida horizontalmente entre electrodos a su vez es un promedio en cuanto a la profundidad de los mismos, es decir, los valores obtenidos corresponden a la resistividad promedio a una profundidad aproximadamente igual a la distancia entre los electrodos.

Figura 2.

Disposición de electrodos método Wenner



Fuente. Extraído de (Teluometro, 2019)

El método de Wenner es una técnica ampliamente utilizada en la geofísica, la ingeniería civil y la ingeniería eléctrica para determinar la resistividad eléctrica del subsuelo. Desarrollado

por Frank Wenner en 1915, este método se basa en la ley de Ohm y proporciona una forma eficiente y precisa de caracterizar la distribución de resistividad del terreno a diferentes profundidades.

4.6 Características del método de Wenner

1. Configuración sencilla.
2. La medición de Resistencia es más directa, debido a su relación lineal de Voltaje y Corriente, lo que permite ver de manera fácil la tendencia de la curva obtenida, y permite tomar decisiones en caso de descartar o continuar con las mediciones.
3. El instrumento que se utilice en la medición puede tener una menor sensibilidad versus otras configuraciones.
4. Hay un menor efecto relativo de campo potencial externo, ya que a mayor separación de electrodos el voltaje es mayor y por lo tanto se verá menos influenciado por externalidades. (Ingenieria Electrica Online, 2024)

Ley de Ohm y Resistividad Eléctrica: La ley de Ohm establece que la corriente eléctrica (I) que fluye a través de un material o conductor, es directamente proporcional al voltaje (V) aplicado e inversamente proporcional a la resistencia eléctrica (R) del material ($I = V / R$). La resistividad eléctrica (ρ) es una propiedad intrínseca de un material que describe su capacidad para resistir el flujo de corriente eléctrica y se calcula mediante la fórmula $\rho = R \cdot A / L$, donde A es el área transversal del material y L es la longitud del mismo. (Herrera, 2024)

En el método de Wenner, se utilizan cuatro electrodos dispuestos en línea recta con una separación fija entre ellos. La distancia entre los electrodos de corriente (A) y los electrodos de

potencial (B) es igual. Se aplica una corriente eléctrica a través de los electrodos de corriente, y se mide el voltaje entre los electrodos de potencial. Al variar la separación entre los electrodos y repetir las mediciones, es posible determinar la resistividad del terreno a diferentes profundidades.

La interpretación de los datos obtenidos mediante el método de Wenner implica la comparación de las resistividades aparentes medidas a diferentes separaciones entre electrodos. Se utiliza el análisis gráfico y computacional para modelar la distribución de resistividad del terreno a diferentes profundidades, lo que permite identificar estructuras geológicas y anomalías subterráneas. (Herrera, 2024)

Consideraciones Prácticas: Para obtener resultados precisos y confiables con el método de Wenner, es importante considerar factores como la influencia de la topografía del terreno, la variabilidad del suelo y la corrección de errores instrumentales. Además, la calibración adecuada del equipo y la correcta preparación del sitio de medición son aspectos fundamentales para garantizar la calidad de los datos.

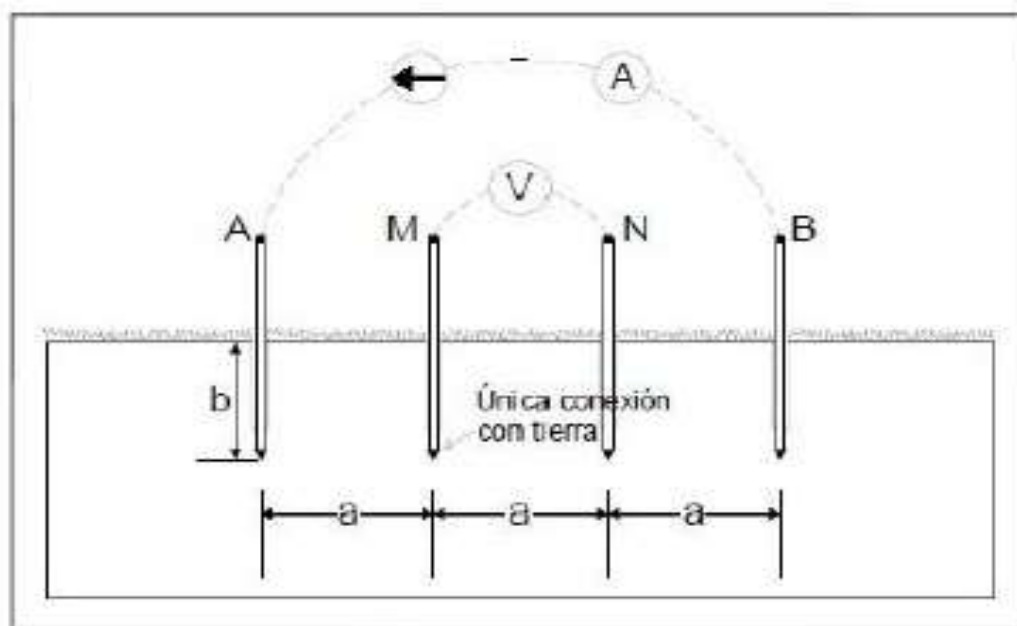
Resistividad del terreno, el factor más importante de la resistencia a tierra no es el electrodo en sí, si no la resistividad del suelo mismo, por ello es muy importante conocerla para calcular y diseñar la puesta a tierra de los sistemas eléctricos. La resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste, para conducir electricidad, es conocida además como la resistencia específica del terreno.

Determinación de la Resistividad por el Método de los Cuatro Electrodos. En la práctica

de la ingeniería de la corrosión se requiere medir la resistividad de grandes extensiones y a menudo, a una cierta profundidad. Para ello se utiliza el método de Wenner, más conocido como método de los cuatro (4) electrodos. El circuito básico se presenta en la figura 1. (Manuel Cordoba Martinez, 2024)

Figura 3.

Arreglo método de Wenner



Fuente: Extraído de (Google, 2024)

4.7 Aplicaciones del telurómetro

El telurómetro Megabras MTD20KWR tiene varios modos de medición, medición de resistencias de puesta a tierra (con 3 puntas), Resistividad del suelo por el método de Wenner (con 4 puntas) y Tensiones espurias presentes en el terreno. Tiene inmunidad a las perturbaciones, con frecuencia de operación de 1470 Hz. La frecuencia de operación cumple con la ecuación:

Ecuación 1.

Frecuencia de operación

$$fg = [(2n + 1)/ 2] x fi$$

fg = frecuencia de la corriente generada por el telurómetro.

n = número entero.

fi = frecuencia industrial.

El cumplimiento de esta ecuación implica que la frecuencia de operación no coincide con ningún armónico de la frecuencia industrial, lo cual permite, mediante el empleo de filtros adecuados, eliminar el efecto de las corrientes parásitas que suelen estar presentes en los terrenos estudiados. (Megabras, 2024)

5 METODOLOGÍA

5.1 Modalidad explicativa

El tipo de estudio del proyecto es de carácter explicativo, ya que se fundamenta en la necesidad de que el estudiante conozca de primera mano la importancia de garantizar la seguridad, principalmente de las personas y segundo de los equipos y aparatos eléctricos que se conectan a los sistemas de puesta a tierra. Identificar los aspectos clave relacionados con la medición y análisis de resistividad del terreno modelado a una capa con equipo de 4 puntas mediante el método de Wenner, es el punto de partida para un correcto diseño de puesta a tierra, los elementos interactivos requeridos, en este caso el telurómetro y demás accesorios, garantizan una experiencia de aprendizaje óptima, con simulaciones, mediciones prácticas y análisis de casos de estudio, estableciendo oportunos y acertados niveles de entendimiento y conocimiento del personal específico a quien se dirige el proyecto.

5.2 Método

El proyecto se fundamenta en el tipo de investigación aplicada, debido a que su desarrollo requiere la aplicación de los conocimientos previamente adquiridos en las asignaturas de Análisis de circuitos, instalaciones eléctricas y Calidad de la Energía incluidas en el pensum de la tecnología eléctrica.

El proyecto con un enfoque explicativo, se basa en la necesidad de que los estudiantes comprendan la importancia de garantizar la seguridad de las personas, primeramente, seguido de los equipos eléctricos y electrónicos mediante los sistemas de puestas a tierra. Este sistema es

esencial para proteger contra posibles fallas de aislamiento que pueden provocar tensiones peligrosas debido a contactos indirectos y también en el direccionamiento de las descargas atmosféricas a tierra.

5.3 Población y muestra

Brindar un recurso educativo específico sobre medición y análisis de resistividad del terreno modelado a una capa con equipo telurómetro de 4 puntas marca Megabras MTD20KWR mediante el método de Wenner, diseñado para satisfacer las necesidades tanto de la población estudiantil en formación como de los profesionales activos en el campo aplicativo y en la industria.

5.4 Instrumentos de recolección de información.

5.4.1 Fuentes primarias

Experiencia personal de los integrantes en el proyecto de grado con la interacción de los equipos de medida telurómetros multimarca, asesoría con el Ingeniero Felipe Herrera de la empresa COMPEL SA para el manejo del equipo y los aspectos teóricos clave en dicho proceso, adicionalmente asesoría por parte de los docentes Carlos Mario Paniagua, Bayron Álvarez.

5.4.2 Fuentes secundarias

Literatura técnica especializada en la parte eléctrica, especialmente en los sistemas de puesta a tierra.

6 RESULTADOS DEL PROYECTO

- El resultado del proyecto fue desarrollar una guía práctica para medición y análisis de resistividad del terreno modelado a una capa con equipo telurómetro de cuatro puntas Megabras MTD20KWR mediante el método de Wenner. **Ver anexo 10.3**
- Entrega de guía conceptual de aspectos clave a tener en consideración para las mediciones y operación del equipo.
- Entrega de instructivo o guía práctica para la interacción con el equipo.
- Entrega de Telurómetro Megabras MTD20KWR y demás accesorios.

6.1 Guía conceptual de aspectos clave

Los sistemas de puesta a tierra son esenciales para la seguridad de las instalaciones eléctricas, ya que aseguran que las corrientes de falla y descargas atmosféricas sean dirigidas de manera segura hacia la tierra, minimizando riesgos para los seres humanos y protegiendo los equipos. Este principio de seguridad se logra mediante el uso de equipos adecuados para medir y verificar las características de los sistemas de puesta a tierra PAT como lo es el telurómetro Megabras MTD20KWR. Este equipo es utilizado para medir la resistividad del terreno y las resistencias de puesta a tierra, asegurando el correcto funcionamiento de las instalaciones Eléctricas.

6.1.1 Fundamentos del sistema de puesta a tierra

Los sistemas de puesta tierra tienen como principal objetivo garantizar la seguridad eléctrica de las personas, equipos y estructuras. Los objetivos del sistema incluyen:

- Proteger las instalaciones y equipos conectados al sistema eléctrico.
- Garantizar una operación segura, continua e ininterrumpida del sistema eléctrico, manteniendo un potencial de referencia estable con respecto a tierra.
- Reducir las sobrecargas y sobretensiones en caso de fallas, limitando los impactos en el sistema.

6.1.2 Tipos de puesta a tierra

- **Puesta a tierra en sistemas eléctricos:** En este tipo de puesta a tierra, el objetivo es limitar las sobretensiones generadas por fenómenos como descargas atmosféricas, inducción electromagnética o contactos involuntarios entre conductores de diferente nivel de tensión. Se utiliza un conductor adecuado para direccionar las corrientes de falla a tierra.
- **Puesta a tierra en equipos eléctricos:** Este sistema está diseñado para eliminar las corrientes de paso o de toque que pueden poner en peligro a las personas y a los equipos. Se conecta a tierra las partes metálicas de los equipos que, en condiciones normales, no deberían de tener potencial eléctrico en su estructura, como lo son las carcasas metálicas y los chasis de los equipos.

6.1.3 Composición del terreno

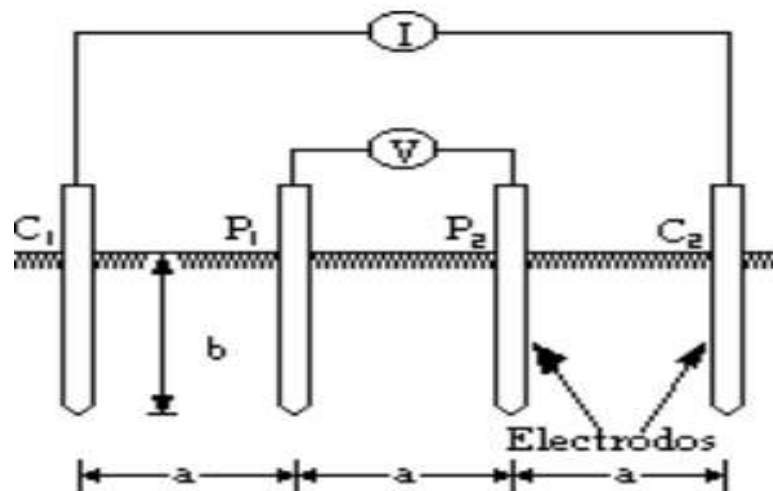
La resistividad del terreno depende de varios factores, principalmente la cantidad y calidad de sales minerales y humedad del suelo. Los terrenos húmedos o arcillosos tienen una baja resistividad, lo que favorece la conducción de corriente. En cambio, los terrenos secos, arenosos y rocosos tienen una resistividad elevada, lo que puede requerir una intervención donde se realicen modificaciones químicas para mejorar las características del terreno.

6.1.4 Resistividad del terreno

La resistividad del terreno es crucial para el diseño y la correcta operación de los sistemas de puesta a tierra. Se mide en ohmios por metro ($\Omega \cdot m$) y es un indicador de la capacidad del suelo para conducir electricidad. En la práctica se emplea el método de los cuatro polos para determinar la resistividad del suelo, y el método de los tres polos para determinar la resistencia de los sistemas de puesta a tierra.

6.1.5 Método de Wenner, 4 Polos

El método de Wenner, desarrollado en 1915 por Frank Wenner, es el más utilizado para medir la resistividad del terreno. Se emplean cuatro electrodos dispuestos en línea recta con una separación fija entre ellos. Los electrodos C1 y C2 son la fuente de corriente, mientras que P1 y P2 miden el voltaje o potencial. La resistividad aparente se obtiene a partir de la relación entre la corriente inyectada y el voltaje medido.

Figura 4.*Electrodos Método de Wenner*

Fuente: extraído de (Megabras, 2024)

6.1.6 Características del método de Wenner:

- Configuración sencilla, la disposición lineal y equidistante de los electrodos facilita la medición.
- Medición directa, la relación lineal de voltaje y corriente permite obtener una curva de resistividad fácil de interpretar.
- Menos influencia de interferencias externas, a mayor distancia entre electrodos, el voltaje es mayor, lo que reduce la influencia de campos eléctricos externos.

6.1.7 Operación del telurómetro Megabras MTD20KWR

El telurómetro Megabras MTD20KWR es un equipo avanzado y de vanguardia para

realizar mediciones precisas de sistemas de puesta a tierra y resistividad del terreno. Este dispositivo cuenta con varios tipos de medición:

- Medición de resistividad del suelo, utiliza el método de los cuatro electrodos (Wenner).
- Medición de resistencias de puesta a tierra, medición con tres electrodos para verificar las especificaciones de los sistemas de puesta a tierra PAT.
- Medición de tensiones espurias, detecta y mide las corrientes parasitas presentes en el terreno.

6.1.8 Consideraciones para la medición con el equipo

6.1.8.1 Selección del sitio de medición. El sitio deber ser dentro de lo posible libre de interferencias externas que puedan afectar las lecturas de las mediciones. Evitar zonas cercanas a líneas de alta tensión u otros equipos eléctricos que generen campos magnéticos. Sin embargo, cabe resaltar que el equipo MTD20KWR cuenta con inmunidad a perturbaciones externas gracias a su operación de alta frecuencia de 1470Hz, esta frecuencia asegura que el equipo no se vea afectado por corrientes parasitas generadas por otras fuentes de energía cercanas.

6.1.8.2 Calibración del equipo. Verifique regularmente la calibración del Telurómetro para asegurar la exactitud de las mediciones.

6.1.8.3 Distancia y configuración de electrodos. Asegúrese de que los electrodos estén correctamente distribuidos y equidistantes entre ellos, confirme a las recomendaciones del método de Wenner para obtener resultados confiables,

distancias mínimas entre electrodos de 30cm.

6.1.8.4 Condiciones del terreno: La variabilidad en la resistividad del terreno puede influir significativamente en las mediciones, especialmente en suelos secos o rocosos. Considerar la humedad, la temperatura y la composición del suelo para interpretar correctamente los resultados.

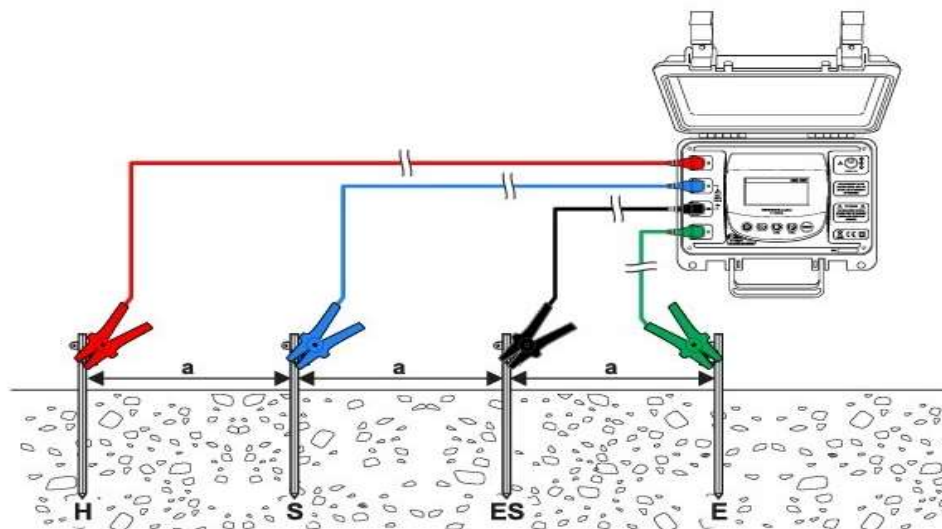
6.2 Instructivo practico de mediciones

6.2.1 Medición de resistividad especifica de terreno – Método Wenner

- Clave en el terreno las cuatro jabalinas (picas), alineadas y con separación equidistante “a” como se indica en la figura. En esta medición la distancia entre jabalinas es crítica, ya que interviene en el cálculo de la resistividad.

Figura 5.

Conexión de equipo método de cuatro polos (Wenner)

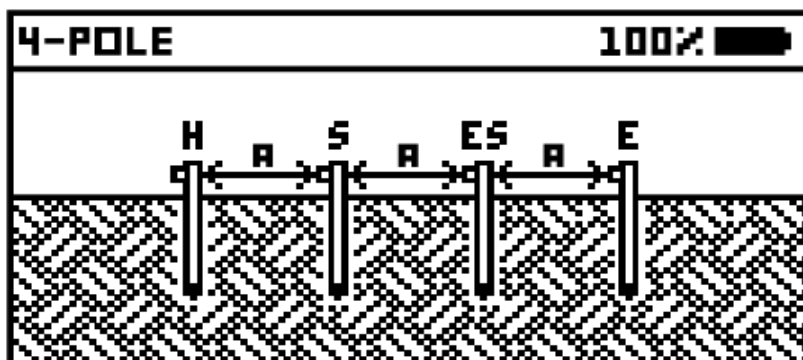


Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

- Pulse la tecla ρ (4 jabalinas) para seleccionar el método de selección de resistividad.

Figura 6.

Método cuatro picas (Wenner)

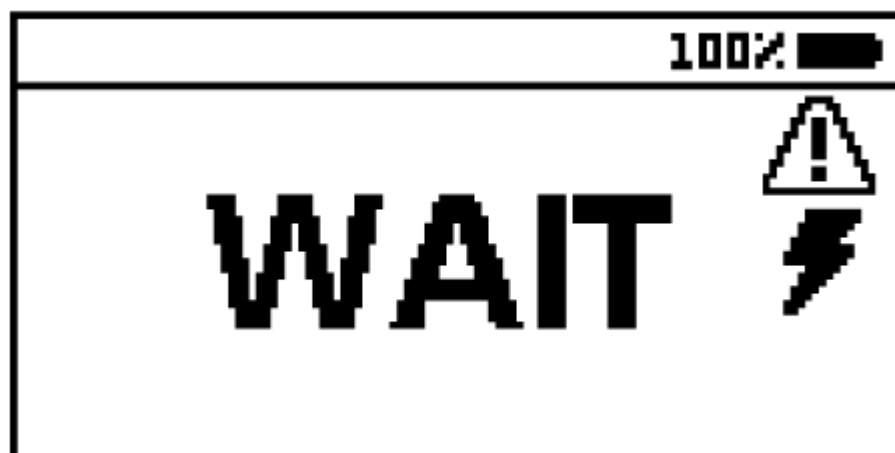


Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

- Pulse la tecla “TEST” para iniciar la medición, aparecerá un mensaje en pantalla con la palabra “WAIT” como se muestra en la figura 7.

Figura 7.

Test (Medir)

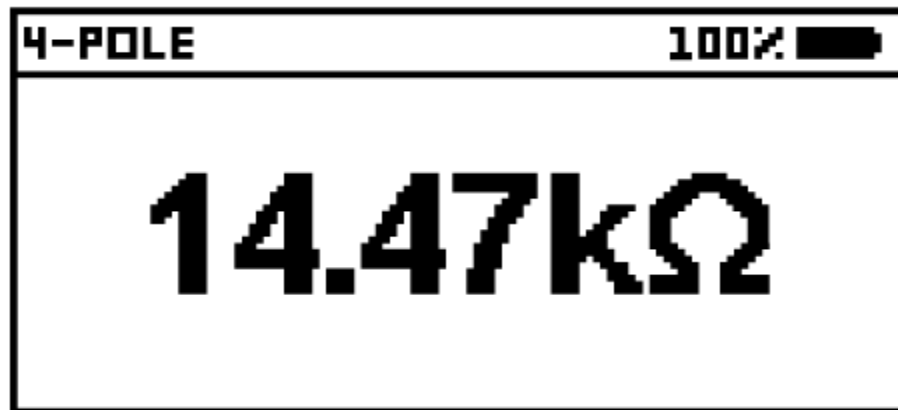


Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

- Transcurridos unos segundos se mostrará el resultado.

Figura 8.

Resultado método cuatro polos



Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

- Para obtener el valor de la resistividad media del terreno se debe aplicar la ecuación de Wenner en su forma simplificada.

Ecuación 2.

Ecuación Wenner Simplificada

$$\rho = 2\pi Ra$$

ρ = valor de la resistividad media del terreno, en [Ω m]

π = 3,14159

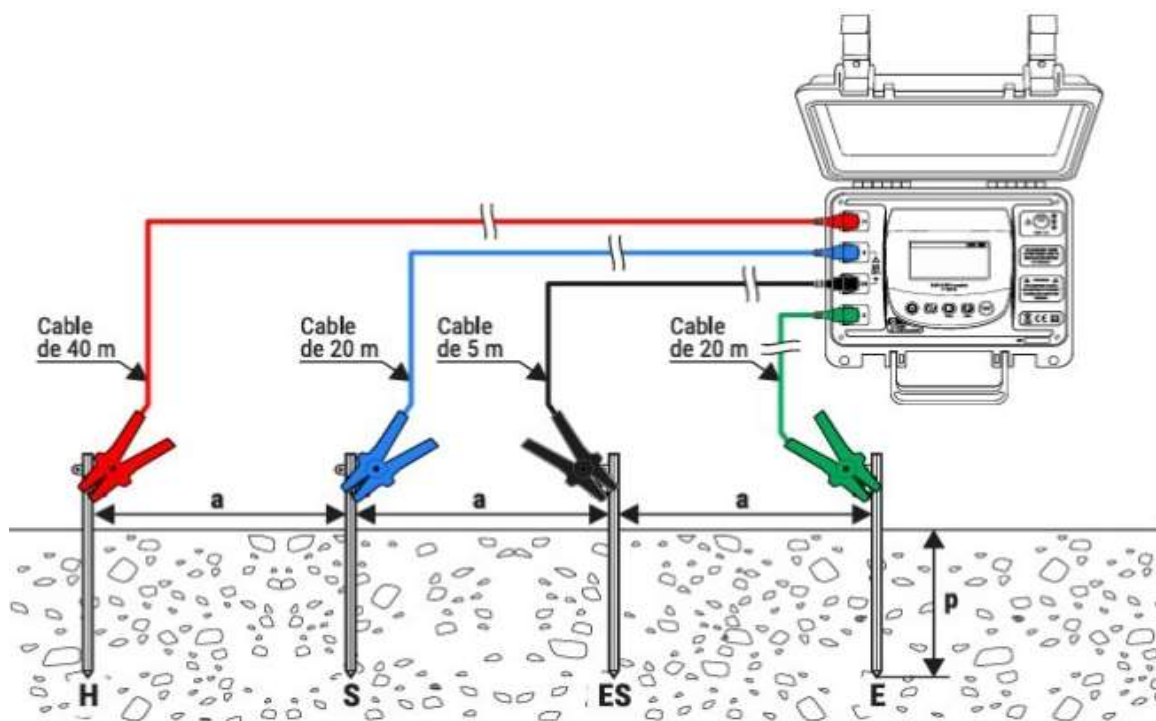
R = valor indicado en la pantalla

a = distancia de entre las jabalinas, expresada en metros

Se obtiene así la resistividad media del terreno desde la superficie hasta una profundidad igual a la distancia “a” entre jabalinas. Haciendo diversas mediciones con diferentes distancias entre jabalinas se obtiene la información necesaria para realizar la estratificación del terreno por método gráficos o mediante la utilización de un software adecuado. Las distancias adoptadas generalmente son 1, 2, 4, 8 y 16 metros. Para realizar la medición con “a” = 16 metros los cables se pueden distribuir como se indica a continuación.

Figura 9.

Disposición de cables método de Wenner cuatro picas



Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

- La forma simplificada de la ecuación de Wenner puede aplicarse siempre que la profundidad de penetración de cada jabalina sea despreciable comparada con la

distancia “a”. Esta condición puede ser compleja de cumplir cuando la distancia “a” es pequeña, por la necesidad de asegurar un buen contacto de la jabalina con el terreno.

En ese caso debe de aplicar la forma completa de la ecuación.

Ecuación 3.

Ecuación Wenner completa

$$\rho = \frac{4\pi R a}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4p^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + p^2}}}$$

Donde:

ρ = valor de la resistividad media del terreno, en [Ωm]

π = 3,14159

a = distancia de entre las jabalinas (separación)

p = profundidad de penetración de las jabalinas auxiliares

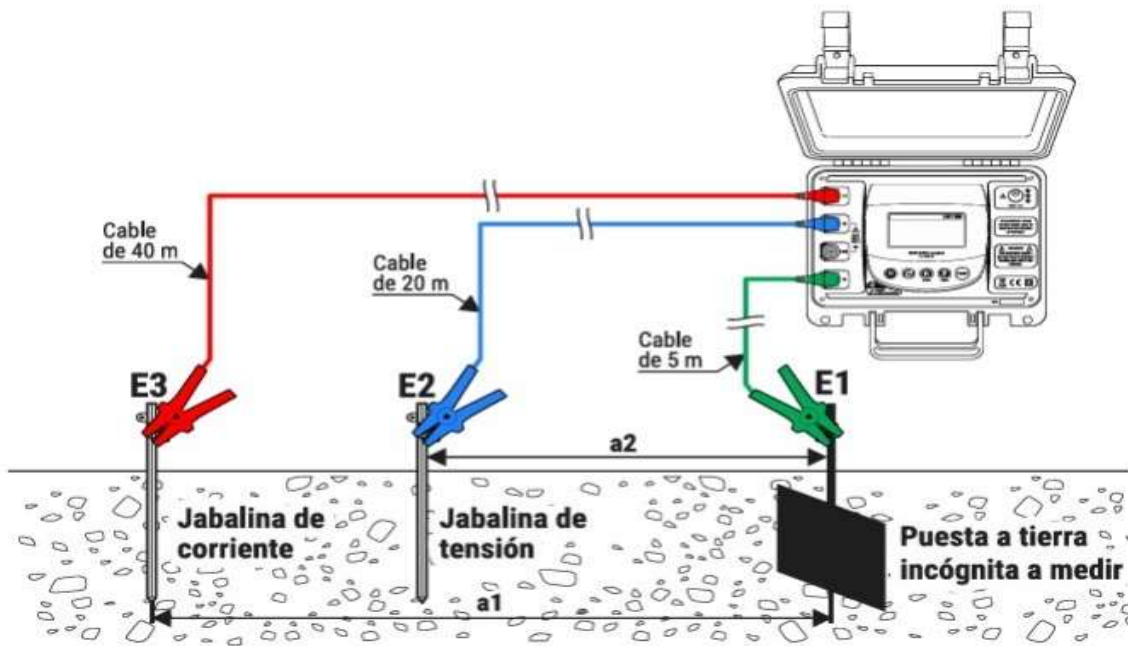
R = valor indicado en la pantalla

6.2.2 Medición de resistencia de puesta a tierra

- Clave en el terreno dos jabalinas (picas) auxiliares, la jabalina de corriente E3 y la jabalina de tensión E2 y conéctelas a través de los cables provistos a los bornes H y S respectivamente. El borne E se debe de conectar a la puesta a tierra cuya resistencia se quiere medir E1 con el cable de 5 metros (verde).

Figura 10.

Arreglo método tres picas

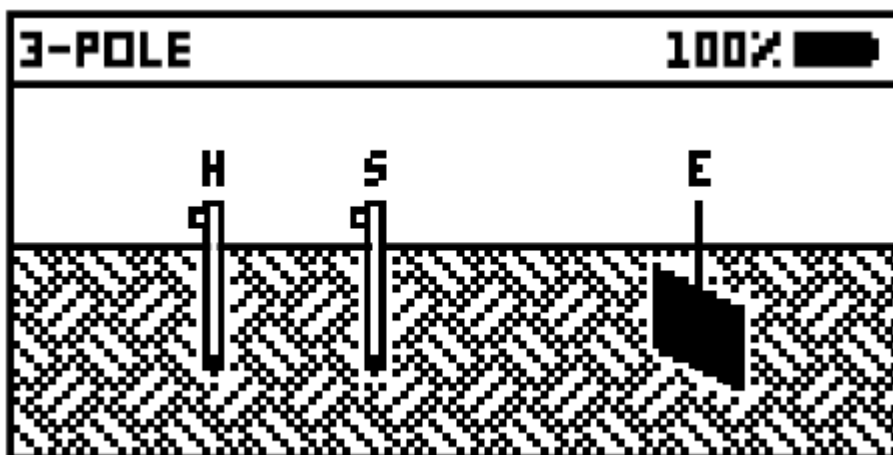


Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

- Pulse la tecla R (3 picas) para seleccionar el modo de resistencia de puesta a tierra como se muestra en la figura 11.

Figura 11.

Método de tres picas

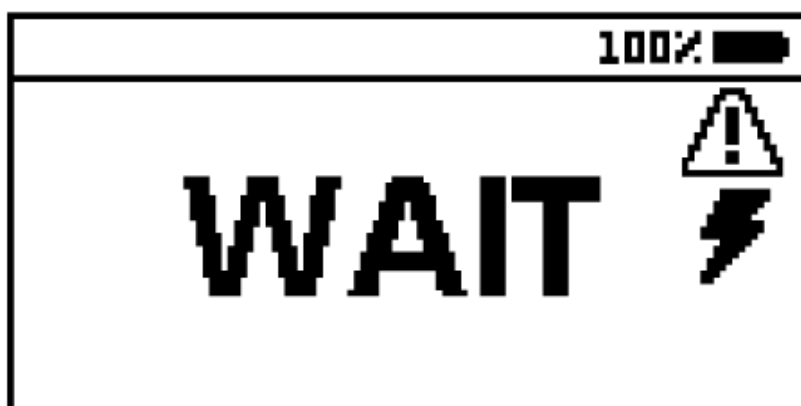


Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

- Pulse la tecla "Test" para iniciar la medición. Aparecerá en pantalla un mensaje con la palabra "WAIT" como se muestra en la figura 12.

Figura 12.

Test (Medir)

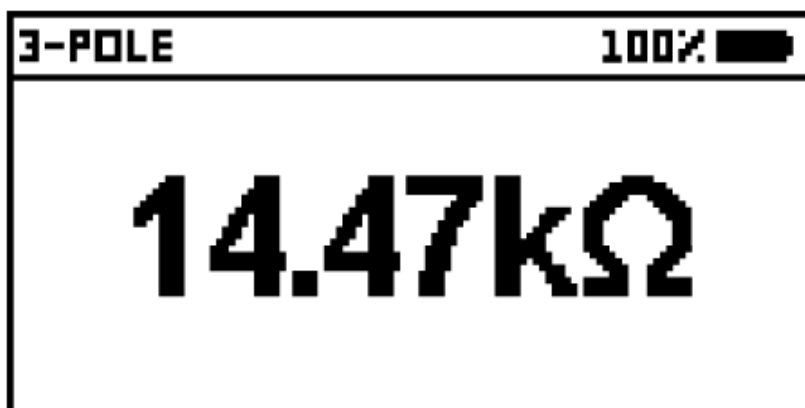


Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

- Transcurridos unos segundos, se mostrará el resultado.

Figura 13.

Resultado método de tres polos



Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

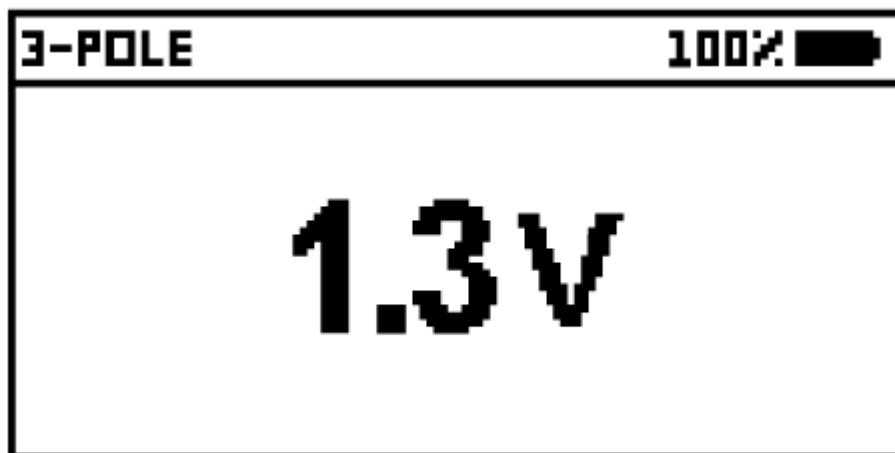
6.2.3 Medición de tensiones espurias.

- Para verificar la existencia y medir las tensiones espurias presentes en el terreno, deben mantenerse las jabalinas hincadas en el terreno y conectadas al equipo como se muestra en la figura 9.
- Mantenga pulsada la tecla (Ver figura 14), la pantalla indicara la medición de CA existente entre la puesta a tierra y la sonda E2.

Figura 14.

Tecla que se debe pulsar



Figura 15.*Medición tensiones espurias*

Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

6.3 Descripción técnica del proyecto.

El telurómetro digital MTD20KWR permite medir resistencias de puesta a tierra (PAT), resistividad del terreno por el método de Wenner y las tensiones espurias provocadas por las corrientes parásitas en el suelo. El campo de aplicación de este equipo incluye la verificación de la PAT de edificios, instalaciones industriales, hospitalarias y domiciliarias, pararrayos, antenas, subestaciones, etc., de acuerdo con la IEC 61557-5. Midiendo la resistividad puede evaluarse la estratificación del terreno para optimizar el diseño de los sistemas de PAT más complejos. Por su elaborado sistema de filtros activos y pasivos, posee una elevada inmunidad a las interferencias eléctricas y permite obtener mediciones confiables incluso en presencia de altas tensiones parásitas como las que suelen encontrarse en algunas áreas urbanas y en la proximidad de subestaciones de transformación. La corriente de medición, regulada electrónicamente, es alternada con una frecuencia de 1470 Hz, lo cual permite evaluar adecuadamente el comportamiento de la instalación

de PAT tanto en relación a una falla de frecuencia industrial como frente a una descarga atmosférica. Por su amplio rango de medición (desde 0,01 Ω hasta 20 k Ω), este equipo permite mediciones confiables en todo tipo de terreno, incluso aquellos con muy alta resistividad. Es un instrumento de utilización muy simple, con lectura directa en su pantalla gráfica de 128 x 64 px. Se provee con las jabalinas auxiliares y cables requeridos para las mediciones típicas. Su gabinete es robusto, de fácil y seguro transporte. Es adecuado para operar en condiciones geográficas y ambientales adversas, con temperaturas extremas en regiones frías o tropicales y elevadas alturas en zonas montañosas, por lo que presenta un óptimo desempeño en los trabajos de campo, en cualquier situación.

6.3.1 Características telurómetro MTD20KWR.

1. Digital y automático.
2. Medición de resistencia de puesta a tierra.
3. Medición de resistividad del terreno (Método de Wenner).
4. Medición de tensiones espurias.
5. Alta inmunidad a las interferencias.
6. Indicación de anomalías en el circuito de corriente.
7. Resolución de 0,01 Ω .
8. Rango de resistencia hasta 20 k Ω .
9. Batería recargable.
10. Protección IP65 (con la tapa cerrada).
11. Pantalla gráfica (128 x 64 px).

Adicionalmente este telurómetro digital tiene Control remoto por App desde un dispositivo Android o Smartphone. Mayor seguridad y comodidad: Configura, inicia y detiene las pruebas de una manera aún más segura y cómoda. Realiza informes automáticos directamente desde la App. Recursos de los equipos Smartphone y Android para incorporar funciones en sus informes fotos, coordenadas GPS y mapas.

6.3.2 Accesorios incluidos.

1. 4 jabalinas.
2. Fuente de alimentación del cargador de batería.
3. Cable de conexión para alimentar el cargador con una batería externa de 12V (de automóvil o similar).
4. Carrete con cable de 40 m (rojo).
5. Carrete con cable de 20 m (azul).
6. Carrete con cable de 20 m (verde).
7. Cable corto de 5 m (negro).
8. Cable corto de 5 m (verde) para conexión a la puesta a tierra a medir.
9. Manual de uso.
10. Aplicación BlueLogg (Para operar el equipo desde un dispositivo móvil).
11. Estuche para transporte del equipo y estuche adicional para accesorios.
12. Lienza en fibra de vidrio 50 Metros Truper para las distancias entre electrodos.
13. Almádana 4 libras 12” Truper para el anclaje de las picas en el terreno.

7. CONCLUSIONES

- La información sobre la resistividad del terreno es crucial para el cálculo y desarrollo de los sistemas de puesta a tierra y su dimensionamiento, con el fin de garantizar la confiabilidad y seguridad de las personas, los equipos y la infraestructura eléctrica presente en casas, edificios, empresas, industria en general, etc.
- La eficiencia del equipo Telurómetro Megabras MTD20KWR al ser un equipo completo y sofisticado que permite realizar los tres tipos de mediciones como análisis de resistividad específica del terreno (método 4 picas), análisis de resistencia (método 3 picas) y tensiones espurias presentes en el terreno por corrientes parasitas, satisface completamente las necesidades en los estudios de sistemas de puesta a tierra PAT.
- La importancia de poder realizar ejercicios prácticos para que el desarrollo y aplicación de los conceptos teóricos de aprendizaje tengan unas bases sólidas de experiencia operacional en los futuros profesionales en el área de la ingeniería.
- Las guías e instructivos prácticos para los 3 tipos de mediciones que puede realizar el equipo garantizan la profundización en la experiencia de los aprendices con las principales generalidades presentes en los sistemas de puesta a tierra PAT.
- La toma de datos, información y generación de informes obtenida a través del software especializado mejora la precisión en la interpretación de los datos e información del análisis de resistividad, al permitirle al usuario mediante el aplicativo BlueLogg la adición de imágenes fotográficas, así como la optimización de tiempo al no tener que tomar registro manual de las mediciones realizadas.

8. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio previo del terreno, antes de llevar a cabo la medición de resistividad, es fundamental realizar un análisis geológico y topográfico del área de estudio; esto permitirá identificar características que puedan influir en los resultados.
- Realizar múltiples mediciones para aumentar la fiabilidad de los resultados, mediciones en diferentes puntos y con diferentes orientaciones de picas en el terreno que garanticen la homogeneidad del mismo.
- Analizar los resultados mediante el software especializado, utilizar el software del fabricante del equipo puede facilitar la interpretación y visualización de datos y resultados, permitiendo un entendimiento más claro de las resistividades del terreno.
- Considerar factores ambientales como la humedad, la temperatura y elementos contaminantes en zonas de alta fluctuación por estos mismos.
- La batería del equipo se debe de cargar antes de almacenar el equipo y no dejar pasar más de 30 días sin repetir el proceso de carga.
- Revisar literatura relacionada, investigar estudios previos para contextualizar los resultados obtenidos y realizar comparativos.

9. BIBLIOGRAFÍA

Google. (3 de 11 de 2024). *Google*. Obtenido de www.google.com

Herrera, J. F. (14 de 03 de 2024). Ingeniero de Soporte Tecnico Compel SA. (K. S. Taborda, Entrevistador)

Ingenieria Electrica Online. (30 de Mayo de 2024). *Ingenieria Electrica Online*. Obtenido de <https://www.ingenieriaelectronica.com/metodo-wenner-medicion-de-resistividad/>

Manuel Cordoba Martinez. (30 de 05 de 2024). *DISEÑO DE SISTEMA PUESTA A TIERRA PARA LA INSTITUCIÓN PASCUAL BRAVO*. Obtenido de https://repositorio.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/210/1/Rep_IUPB_Tec_El_e_Puesta_Tierra.pdf

Megabras. (30 de 05 de 2024). *Megabras*. Obtenido de <https://www.megabras.com/es/productos/teluometro/teluometro-digital-MTD20KWR.php#>

Teluometro. (2019). *Teluometro*. Obtenido de <https://teluometro.com/metodo-wenner/>

Truper. (3 de 11 de 2024). *TRUPER*. Obtenido de www.truper.com

Umaker. (3 de 11 de 2024). *UMAKER*. Obtenido de <https://umakergroup.com/efectos-de-la-corriente-electrica-en-el-cuerpo-humano/>

10. ANEXOS

10.1 Presupuesto

Tabla 1.

Tabla de presupuesto

TELUROMETRO MTD20KWR MEGABRAS	\$4.059.900 (1.041 USD)
LIENZA FIBRA DE VIDRIO TRUPER 50 METROS	\$116.700
ALMADANA 4 LIBRAS 12" TRUPER	\$69.850
TOTAL	\$4.246.450

10.2 Equipos y accesorios.

Figura 16.

MTD20KWR Telurómetro Megabras --- COSTO 1.041 USD (Equipo de Importación)



Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

Figura 17.

Lienza o decámetro en fibra de vidrio Truper 50 Metros --- \$116.700



Fuente: Extraído de (Truper, 2024)

Figura 18.

Almádana 4 fibras mango en madera 12" truper --- \$69.850



Fuente: Extraído de (Truper, 2024)

10.3 Guía práctica experimental:

GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO EXPERIMENTAL VICERRECTORÍA DE DOCENCIA	Código: GDO-GU-11
	Versión: 001
	Páginas: 45 de 58

1. IDENTIFICACIÓN

PROGRAMA:	<i>Tecnología Eléctrica</i>	FACULTAD:	<i>Ingeniería Eléctrica</i>
ASIGNATURA	<i>Calidad de la energía</i>	CÓDIGO:	<i>EA0382</i>
PRÁCTICA DE LABORATORIO:	<i>Análisis de resistividad del terreno modelado a una capa con equipo telurómetro MTD20KWR</i>		

2. COMPETENCIAS

ELEMENTO DE LA ASIGNATURA	CRITERIOS DE DESEMPEÑO PARA LA PRÁCTICA	CRITERIOS DE DESEMPEÑO PREVIOS A LA PRÁCTICA
<p>Dominio de principios eléctricos aplicados al análisis de resistividad específica del terreno, comprender y aplicar los principios fundamentales de sistemas de puesta a tierra PAT, los métodos de medición y las técnicas asociadas a la interpretación de datos. Este conocimiento es esencial para llevar a cabo mediciones precisas y confiables y comprender las implicaciones de los resultados obtenidos.</p> <p>Selección y aplicación de equipos de medición, utilizar adecuadamente el equipo Telurómetro con sus respectivos arreglos de electrodos según el método</p>	<p>Comprensión teórica de los métodos de análisis de los sistemas de puesta tierra PAT, los estudiantes adquieren los conocimientos básicos para identificar como la resistividad específica del terreno varía en función de las características físicas del terreno y los materiales presentes en el mismo.</p> <p>Capacidad para realizar los diferentes tipos de mediciones con el equipo Telurómetro y la respectiva configuración de electrodos según el método a utilizar,</p>	<p>Fundamentos de electricidad básica como la ley de ohm y su relación entre los componentes voltaje, resistencia, y corrientes vistos en Circuitos Eléctricos 1 y 2.</p> <p>Conocimientos básicos en sistemas de puesta a tierra PAT vistos en la asignatura de Calidad De La Energía y su relación con las protecciones de los sistemas eléctricos vistos en la asignatura Protecciones Y Medidas.</p> <p>Conocimiento teórico para identificar los factores que pueden afectar las mediciones en campo tales como humedad, temperatura</p>

GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO EXPERIMENTAL VICERRECTORÍA DE DOCENCIA	Código: GDO-GU-11
	Versión: 001
	Páginas: 46 de 58

<p>de medición, conocer los procedimientos para obtener resultados precisos y confiables en el terreno modelado.</p> <p>Aplicación de métodos de procesamiento de datos, manejo de herramientas y software especializado en el procesamiento y análisis de datos obtenidos en campo, para generar informes representativos de la caracterización del perfil del terreno.</p> <p>Informe y presentación de resultados, elaborar informes técnicos que incluyan los objetivos específicos de la práctica, la metodología utilizada, los resultados obtenidos, el análisis de los mismos y las conclusiones finales.</p>	<p>realizando mediciones confiables y seguras.</p> <p>Análisis e interpretación de datos, capacidad para procesar los datos obtenidos y posteriormente analizarlos en detalle para determinar la resistividad específica del terreno en función de la profundidad del terreno.</p> <p>Redacción de informes técnicos, capacidad para detallar los procedimientos, cálculos, resultados y conclusiones de manera profesional con el apoyo del software especializado.</p>	<p>y composición del terreno.</p> <p>Preparación del equipo de medición y el material, esto incluye el estado de los componentes como cables, electrodos, lienza y equipo de medida.</p> <p>Planificación de la ejecución de la práctica, capacidad para coordinar la secuencia de la medición, definiendo la cantidad de mediciones, la ubicación de los electrodos y el espaciamiento entre ellos, dependiendo de la profundidad esperada de la capa.</p> <p>Registro y documentación, tener claridad en el registro de la información obtenida durante la medición, identificando las incidencias relevantes en la práctica que puedan afectar la veracidad de las mediciones.</p>
---	--	---

3. CONCEPTUALIZACIÓN

La práctica experimental se desarrolla a partir de una serie de mediciones en campo utilizando el equipo Telurómetro MTD20KWR, el cual permite realizar tres tipos de

Elaboró: Heber López Osorio/ decano de facultad de ingeniería	Revisó: Alberto Flórez Arias / Contratista Oficina Asesora de Planeación	Aprobó: Juan Guillermo Rivera Berrio/ Vicerrector de docencia
Fecha: 11/05/2020	Fecha: 20/05/2020	Fecha: 20/05/2020

GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO EXPERIMENTAL VICERRECTORÍA DE DOCENCIA	Código: GDO-GU-11
	Versión: 001
	Páginas: 47 de 58

mediciones, Análisis De Resistividad por el método de los cuatro polos (picas) que se realiza previo a la construcción o instalaciones de estructuras y edificaciones, Análisis de Resistencia por el método de los tres polos (picas) que se realiza para medir los sistemas de puesta a tierra ya presentes en estructuras y edificaciones y finalmente Análisis De Tensiones Espurias para medir corrientes parasitas presentes en zonas cercanas a sitios como subestaciones eléctricas. El análisis incluirá la correcta configuración de los electrodos para obtener información a diferentes profundidades con el Método de Wenner (4 polos), resistencia de sistemas PAT, y tensiones espurias, con la posterior interpretación de los datos obtenidos mediante el software especializado BlueLogg del fabricante Megabras.

Para ello se realizarán las siguientes fases:

Revisión Teórica: Investigación sobre los principios de resistividad específica del terreno, resistencia del terreno, tensiones espurias y el funcionamiento del equipo Telurómetro MTD20KWR.

Trabajo De Campo: Identificación de la zona de trabajo y sus características, realización de mediciones en diferentes orientaciones y arreglos de electrodos, registro de las mediciones en el software especializado, asegurando una cobertura de área adecuada para obtener un perfil representativo de la resistividad específica del terreno.

Procesamiento De Información: Análisis de las mediciones obtenidas con el equipo Telurómetro, utilizando el software especializado para generar los modelos de resistividad específica del terreno.

Interpretación De Resultados: Verificación y relacionamiento de los datos de resistividad específica del terreno obtenidos con los perfiles característicos del terreno, zonas rocosas, arenosas, y variación en función de la humedad y temperatura y sus implicaciones en proyectos de ingeniería.

4. RECURSOS REQUERIDOS PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA

- Telurómetro Megabras MTD20KWR

Elaboró: Heber López Osorio/ decano de facultad de ingeniería	Revisó: Alberto Flórez Arias / Contratista Oficina Asesora de Planeación	Aprobó: Juan Guillermo Rivera Berrio/ Vicerrector de docencia
Fecha: 11/05/2020	Fecha: 20/05/2020	Fecha:20/05/2020

GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO EXPERIMENTAL VICERRECTORÍA DE DOCENCIA	Código: GDO-GU-11
	Versión: 001
	Páginas: 48 de 58

- Lienza Fibra De Vidrio Truper 50 metros 12640 TP50ME
- Almádana 4Lb Truper 12" 16508 MD-4M
- Software Especializado Del Fabricante Megabras

5. PROCEDIMIENTO PARA LA EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Medición De Resistividad Especifica De Terreno – Método Wenner.

- Clave en el terreno las cuatro jabalinas (picas), alineadas y con separación equidistante “a” como se indica en la figura. En esta medición la distancia entre jabalinas es crítica, ya que interviene en el cálculo de la resistividad.

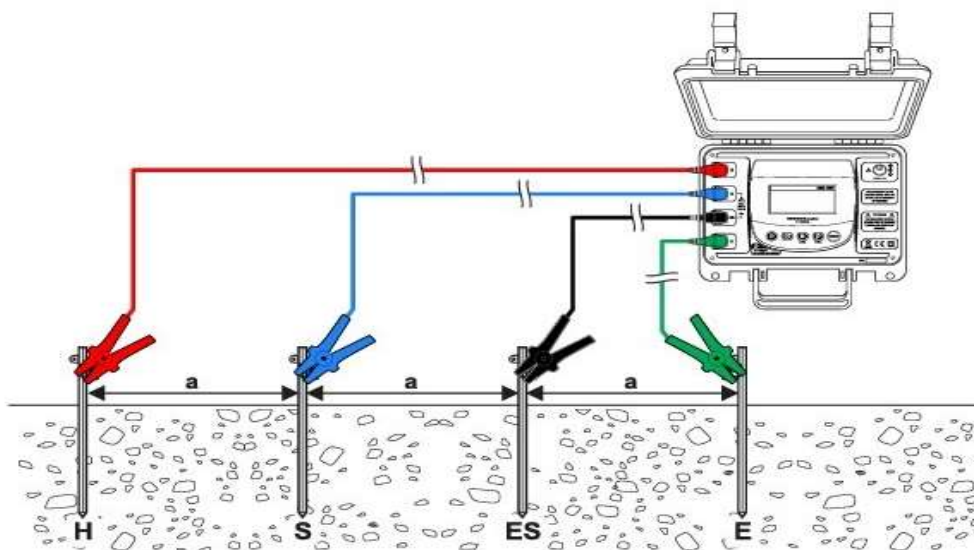


Figura 19. Conexión De Equipo Método Cuatro Picas

Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

- Pulse la tecla ρ (4 jabalinas) para seleccionar el método de selección de

Elaboró: Heber López Osorio/ decano de facultad de ingeniería	Revisó: Alberto Flórez Arias / Contratista Oficina Asesora de Planeación	Aprobó: Juan Guillermo Rivera Berrio/ Vicerrector de docencia
Fecha: 11/05/2020	Fecha: 20/05/2020	Fecha:20/05/2020

GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO EXPERIMENTAL VICERRECTORÍA DE DOCENCIA	Código: GDO-GU-11
	Versión: 001
	Páginas: 49 de 58

resistividad.

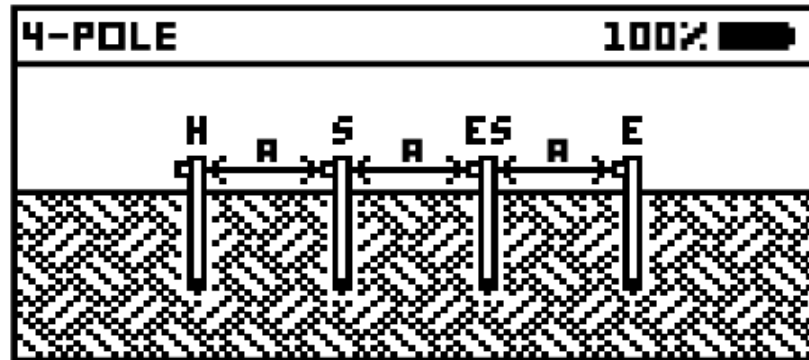


Figura 20. Método Cuatro Picas (Wenner)

Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

- Pulse la tecla “TEST” para iniciar la medición, aparecerá un mensaje en pantalla con la palabra “WAIT”

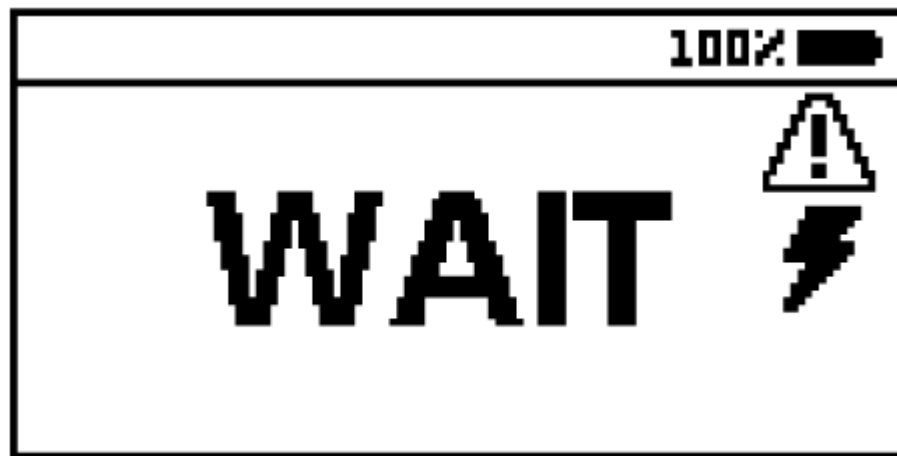


Figura 21. Test (Medir)

Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

Elaboró: Heber López Osorio/ decano de facultad de ingeniería	Revisó: Alberto Flórez Arias / Contratista Oficina Asesora de Planeación	Aprobó: Juan Guillermo Rivera Berrio/ Vicerrector de docencia
Fecha: 11/05/2020	Fecha: 20/05/2020	Fecha:20/05/2020

GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO EXPERIMENTAL VICERRECTORÍA DE DOCENCIA	Código: GDO-GU-11
	Versión: 001
	Páginas: 50 de 58

- Transcurridos unos segundos se mostrará el resultado.



Figura 22. Resultado Método Cuatro Polos

Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

Para obtener el valor de la resistividad media del terreno se debe aplicar la ecuación de Wenner en su forma simplificada.

$$\rho = 2\pi Ra$$

Ecuación 4. Ecuación Wenner Simplificada

ρ = valor de la resistividad media del terreno, en [Ω m]

π = 3,14159

R = valor indicado en la pantalla

a = distancia de entre las jabalinas, expresada en metros

Se obtiene así la resistividad media del terreno desde la superficie hasta una

Elaboró: Heber López Osorio/ decano de facultad de ingeniería	Revisó: Alberto Flórez Arias / Contratista Oficina Asesora de Planeación	Aprobó: Juan Guillermo Rivera Berrio/ Vicerrector de docencia
Fecha: 11/05/2020	Fecha: 20/05/2020	Fecha: 20/05/2020

**GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO EXPERIMENTAL
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA**

Código: GDO-GU-11

Versión: 001

Páginas: 51 de 58

profundidad igual a la distancia “a” entre jabalinas. Haciendo diversas mediciones con diferentes distancias entre jabalinas se obtiene la información necesaria para realizar la estratificación del terreno por método gráficos o mediante la utilización de un software adecuado. Las distancias adoptadas generalmente son 1, 2, 4, 8 y 16 metros. Para realizar la medición con “a” = 16 metros los cables se pueden distribuir como se indica a continuación.

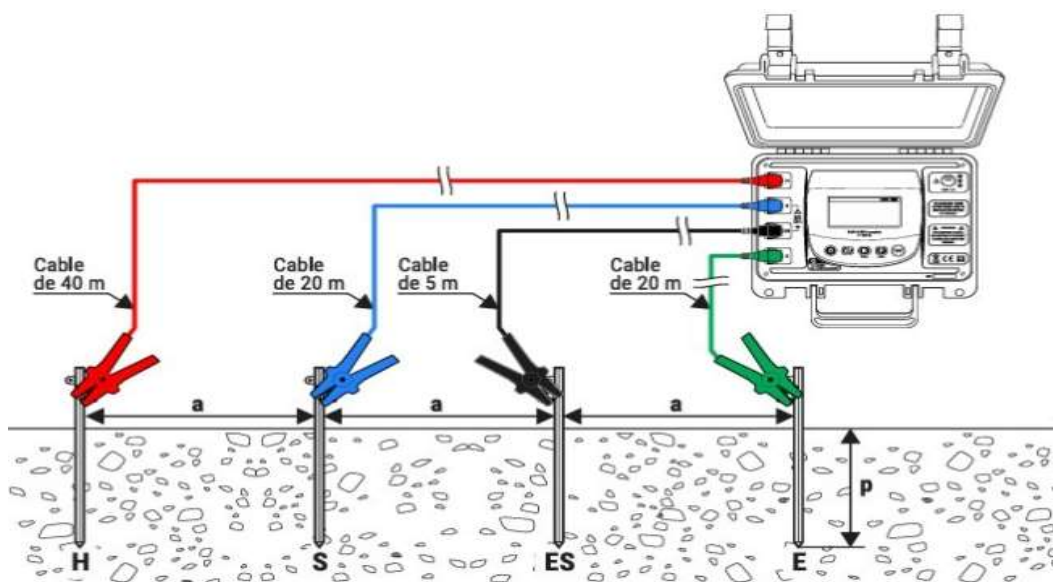


Figura 23. Disposición De Cables Método de Wenner 4 Picas

Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

NOTA: La forma simplificada de la ecuación de Wenner puede aplicarse siempre que la profundidad de penetración de cada jabalina sea despreciable comparada con la distancia “a”. Esta condición puede ser compleja de cumplir cuando la distancia “a” es

Elaboró: Heber López Osorio/ decano de facultad de ingeniería

Revisó: Alberto Flórez Arias / Contratista Oficina Asesora de Planeación

Aprobó: Juan Guillermo Rivera Berrio/ Vicerrector de docencia

Fecha: 11/05/2020

Fecha: 20/05/2020

Fecha:20/05/2020

GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO EXPERIMENTAL VICERRECTORÍA DE DOCENCIA	Código: GDO-GU-11
	Versión: 001
	Páginas: 52 de 58

pequeña, por la necesidad de asegurar un buen contacto de la jabalina con el terreno. En ese caso debe de aplicar la forma completa de la ecuación.

$$\rho = \frac{4\pi Ra}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4p^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + p^2}}}$$

Ecuación 5. Ecuación Wenner Completa

Donde:

ρ = valor de la resistividad media del terreno, en [Ω m]

$\pi = 3,14159$

a = distancia de entre las jabalinas (separación)

p = profundidad de penetración de las jabalinas auxiliares

R = valor indicado en la pantalla

Elaboró: Heber López Osorio/ decano de facultad de ingeniería	Revisó: Alberto Flórez Arias / Contratista Oficina Asesora de Planeación	Aprobó: Juan Guillermo Rivera Berrio/ Vicerrector de docencia
Fecha: 11/05/2020	Fecha: 20/05/2020	Fecha:20/05/2020

GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO EXPERIMENTAL VICERRECTORÍA DE DOCENCIA	Código: GDO-GU-11
	Versión: 001
	Páginas: 53 de 58

Medición De Resistencia De Puesta A Tierra.

- Clave en el terreno dos jabalinas (picas) auxiliares, la jabalina de corriente E3 y la jabalina de tensión E2 y conéctelas a través de los cables provistos a los bornes H y S respectivamente. El borne E se debe de conectar a la puesta a tierra cuya resistencia se quiere medir E1 con el cable de 5 metros (verde).

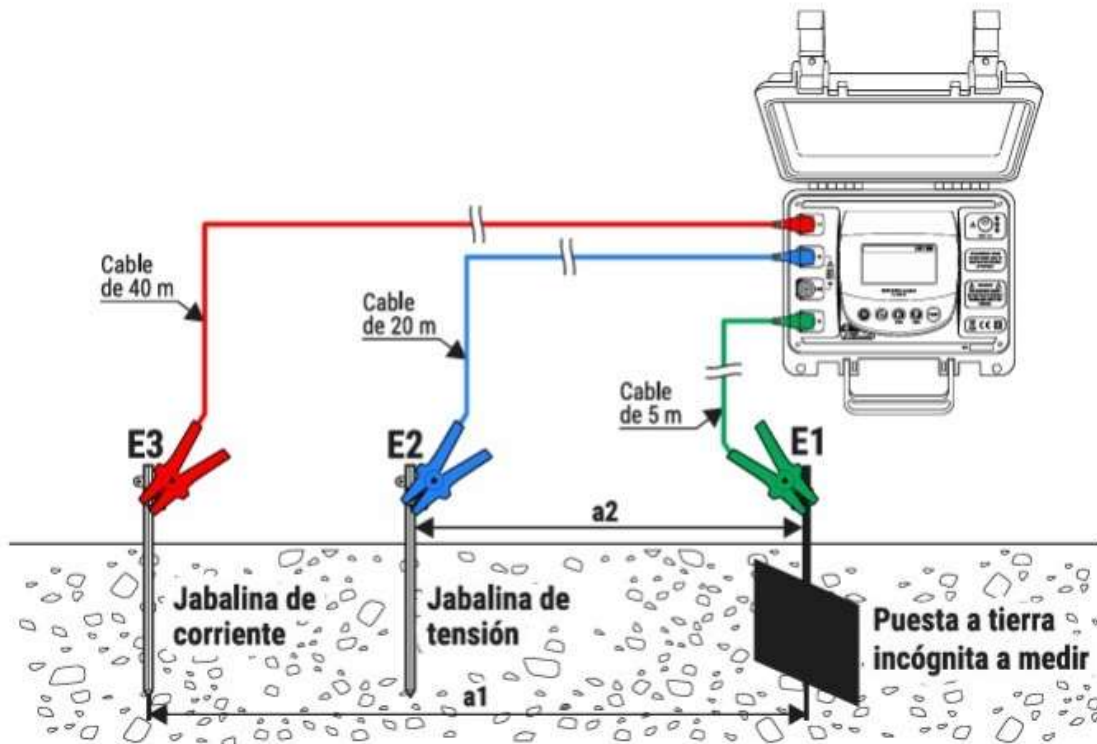


Figura 24. Arreglo Método 3 Picas

Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

Elaboró: Heber López Osorio/ decano de facultad de ingeniería	Revisó: Alberto Flórez Arias / Contratista Oficina Asesora de Planeación	Aprobó: Juan Guillermo Rivera Berrio/ Vicerrector de docencia
Fecha: 11/05/2020	Fecha: 20/05/2020	Fecha: 20/05/2020

GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO EXPERIMENTAL VICERRECTORÍA DE DOCENCIA	Código: GDO-GU-11
	Versión: 001
	Páginas: 54 de 58

- Pulse la tecla R (3 picas) para seleccionar el modo de resistencia de puesta a tierra.

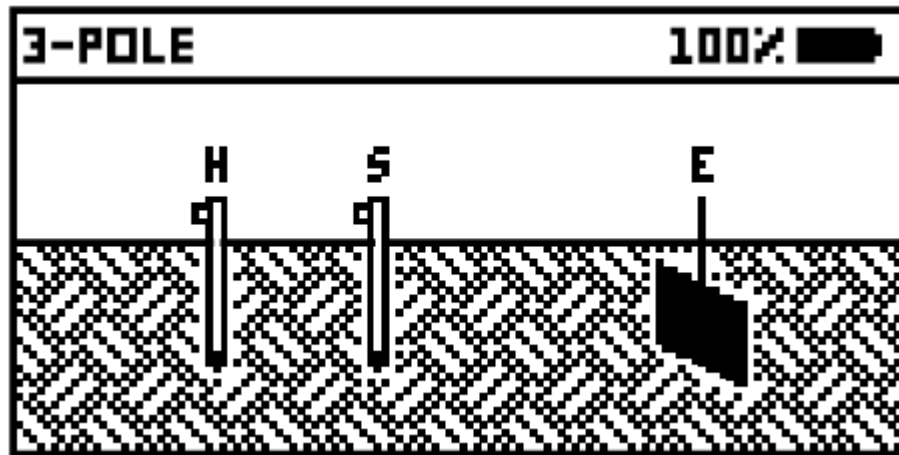


Figura 25. Método De Tres Picas

Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

- Pulse la tecla “Test” para iniciar la medición. Aparecerá en pantalla un mensaje con la palabra “WAIT”.

Elaboró: Heber López Osorio/ decano de facultad de ingeniería	Revisó: Alberto Flórez Arias / Contratista Oficina Asesora de Planeación	Aprobó: Juan Guillermo Rivera Berrio/ Vicerrector de docencia
Fecha: 11/05/2020	Fecha: 20/05/2020	Fecha:20/05/2020

GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO EXPERIMENTAL VICERRECTORÍA DE DOCENCIA	Código: GDO-GU-11
	Versión: 001
	Páginas: 55 de 58

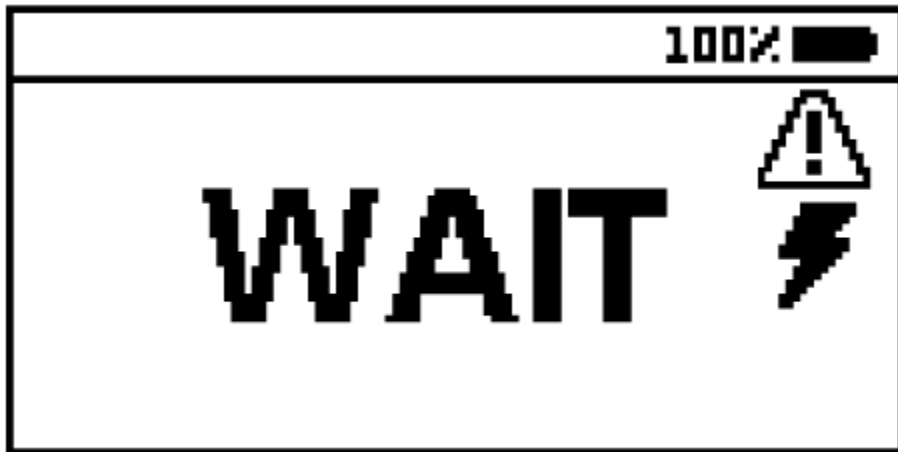


Figura 26. Test (Medir)

Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

- Transcurridos unos segundos, se mostrará el resultado.

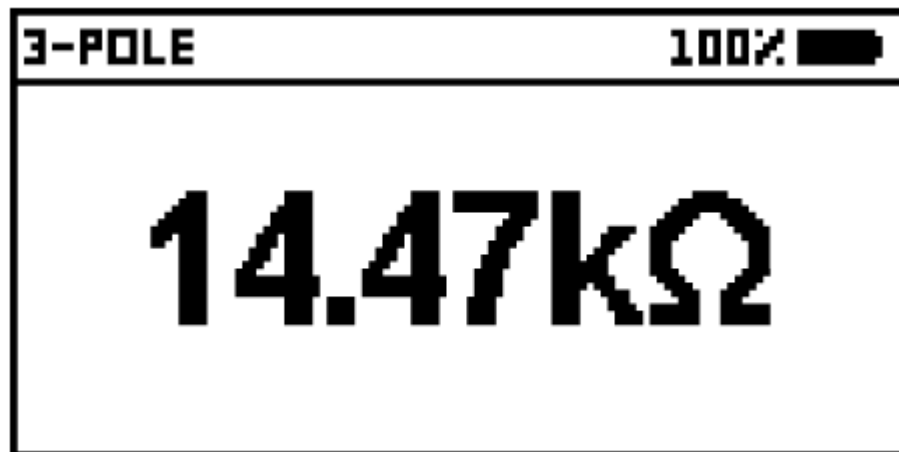



Figura 27. Resultado Método De Tres Polos

Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

Elaboró: Heber López Osorio/ decano de facultad de ingeniería	Revisó: Alberto Flórez Arias / Contratista Oficina Asesora de Planeación	Aprobó: Juan Guillermo Rivera Berrio/ Vicerrector de docencia
Fecha: 11/05/2020	Fecha: 20/05/2020	Fecha:20/05/2020

GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO EXPERIMENTAL VICERRECTORÍA DE DOCENCIA	Código: GDO-GU-11
	Versión: 001
	Páginas: 56 de 58

Medición De Tensiones Espurias.

- Para verificar la existencia y medir las tensiones espurias presentes en el terreno, deben mantenerse las jabalinas hincadas en el terreno y conectadas al equipo como se muestra en la figura 9.
- Mantenga pulsada la tecla  , la pantalla indicara la medición de CA existente entre la puesta a tierra y la sonda E2.

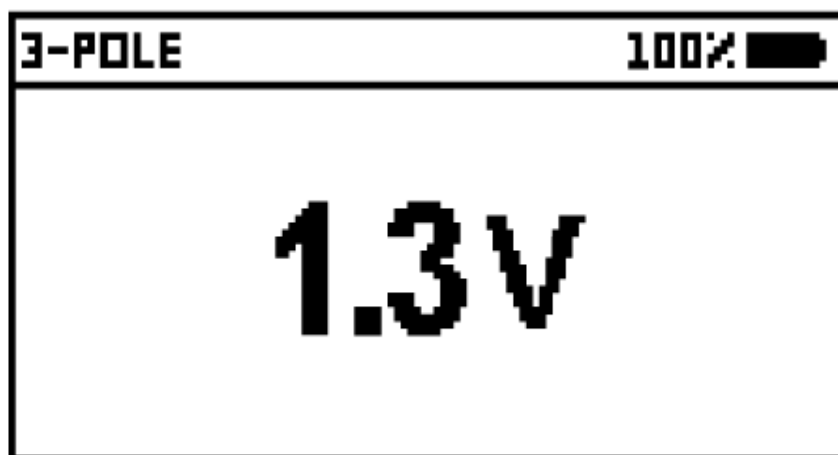


Figura 28. Medición Tensiones Espurias

Fuente: Extraído de (Megabras, 2024)

6. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO

Preparación y Planificación:

Elaboró: Heber López Osorio/ decano de facultad de ingeniería	Revisó: Alberto Flórez Arias / Contratista Oficina Asesora de Planeación	Aprobó: Juan Guillermo Rivera Berrio/ Vicerrector de docencia
Fecha: 11/05/2020	Fecha: 20/05/2020	Fecha:20/05/2020

GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO EXPERIMENTAL VICERRECTORÍA DE DOCENCIA	Código: GDO-GU-11
	Versión: 001
	Páginas: 57 de 58

- Documentación previa, los estudiantes deben de presentar un plan de trabajo que incluya objetivos claros, metodología a seguir y un cronograma de actividades.
- Conocimiento de conceptos, tener comprensión de los conceptos teóricos relacionados con el análisis de la resistividad específica del terreno, resistencia del terreno y corrientes espurias presentes en el terreno, incluyendo los factores ambientales que influyen en el terreno.

Ejecución De La Practica:

- Uso adecuado de equipos, los estudiantes deben de realizar un uso correcto de los elementos presentes en la práctica como el equipo Telurómetro y sus accesorios como Lienza y Almádana, así como los cables y picas.
- Realización de mediciones, llevar a cabo las mediciones siguiendo el protocolo establecido, asegurando la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos.

Análisis De Datos:

- Tratamiento de resultados, presentar los datos recopilados en tablas y graficas que faciliten su comprensión, interpretando correctamente los resultados, y comparándolos con valores teóricos o estándar.
- Identificación de patrones, analizar las variaciones en la resistividad específica del terreno, y relacionarlas con características ambientales presentes en la zona.

7. PARÁMETROS PARA ELABORACIÓN DEL INFORME

Informe Final:

- Estructura del informe, presentar un informe claro y preciso que incluya introducción, metodología, gráficas y tablas, resultados y conclusiones.
- Argumentación científica, fundamentar las conclusiones en base a los datos obtenidos, citando fuentes relevantes y relacionando la practica con conceptos teóricos.

Elaboró: Heber López Osorio/ decano de facultad de ingeniería	Revisó: Alberto Flórez Arias / Contratista Oficina Asesora de Planeación	Aprobó: Juan Guillermo Rivera Berrio/ Vicerrector de docencia
Fecha: 11/05/2020	Fecha: 20/05/2020	Fecha:20/05/2020

GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO EXPERIMENTAL VICERRECTORÍA DE DOCENCIA	Código: GDO-GU-11
	Versión: 001
	Páginas: 58 de 58

Para la realización del cuerpo del informe se debe realizar bajo la norma ICONTEC y será referenciado con la norma APA.

Para consultar las normas puede ingresar a los siguientes links:

- <https://normasicontec.co/>
- <https://www.um.es/documents/378246/2964900/Normas+APA+Sexta+Edici%C3%B3n.pdf/27f8511d-95b6-4096-8d3e-f8492f61c6dc>

8. BIBLIOGRAFÍA

Incluya documento todas las referencias bibliográficas usadas durante la realización del cuerpo del, además de la bibliografía requerida o de consulta para la efectiva culminación de la misma. Utilice el formato de citación APA para este fin.

<i>Elaborada por:</i>		Versión:
<i>Aprobada por:</i>	Comité curricular, Departamento----- acta N° ----- de 2020	
<i>Revisada por:</i>	Escuela de pedagogía	Fecha cambio:

Elaboró: Heber López Osorio/ decano de facultad de ingeniería	Revisó: Alberto Flórez Arias / Contratista Oficina Asesora de Planeación	Aprobó: Juan Guillermo Rivera Berrio/ Vicerrector de docencia
Fecha: 11/05/2020	Fecha: 20/05/2020	Fecha:20/05/2020