

**EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE WENNER Y SCHLUMBERGER, MEDIANTE
COMPARACIÓN DE TIEMPOS DE EJECUCIÓN Y EFICACIA EN SU
IMPLEMENTACIÓN, PARA DETERMINAR LA METODOLOGÍA EFICIENTE EN
EL CÁLCULO DE RESISTIVIDADES, EN LA PARROQUIA CONOCOTO.**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE WENNER Y SCHLUMBERGER, MEDIANTE
COMPARACIÓN DE TIEMPOS DE EJECUCIÓN Y EFICACIA EN SU
IMPLEMENTACIÓN, PARA DETERMINAR LA METODOLOGÍA EFICIENTE EN
EL CÁLCULO DE RESISTIVIDADES, EN LA PARROQUIA CONOCOTO.**

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

AUTOR: SANTIAGO DANIEL LIVE MONCAYO
TUTOR: ROGELIO ALFREDO ORIZONDO
MARTÍNEZ

Quito -Ecuador
2023

Santiago Daniel Live Moncayo

EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE WENNER Y SCHLUMBERGER, MEDIANTE COMPARACIÓN DE TIEMPOS DE EJECUCIÓN Y EFICACIA EN SU IMPLEMENTACIÓN, PARA DETERMINAR LA METODOLOGÍA EFICIENTE EN EL CÁLCULO DE RESISTIVIDADES, EN LA PARROQUIA CONOCOTO.

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2023

Carrera de Electricidad

Breve reseña histórica e información de contacto.



Santiago Daniel Live Moncayo (Y'1999 – M'05). Realizó sus estudios de nivel secundaria, en la Unidad Educativa Sagrados Corazones – Centro, de la ciudad de Quito. Aprobó el Curso en Diseño de Sistemas de Puesta a Tierra, para el sector Industrial, que organizó la Universidad Politécnica Salesiana, en 2021. Obtuvo la certificación en el Perfil de Prevención de Riesgos Laborales Eléctricos, que organizó el Ministerio de Trabajo del Ecuador y la UPS, Sede Quito, en 2021. Actualmente estudia Ingeniería Eléctrica, en la Universidad Politécnica Salesiana slive@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Rogelio Alfredo Orizondo Martínez (Y'1972 – M'1). Nació en Caracas, Venezuela. Recibió su título en Ingeniería Eléctrica por la Universidad Simón Bolívar en 1999 y el MSc. en la Universidad Simón Bolívar en 2006. Actualmente es docente en la Universidad Politécnica Salesiana. Sus áreas de investigación incluyen electrónica de potencia, especialmente FACTS, sistemas de puesta a tierra y protección catódica. rorizondo@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2023 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Santiago Daniel Live Moncayo con documento de identificación N°1721879912 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 3 de abril del año 2023

Atentamente,



Santiago Daniel Live Moncayo
1721879912

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

Yo, Santiago Daniel Live Moncayo con documento de identificación No. 1721879912, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico “Evaluación del método de Wenner y Schlumberger, mediante comparación de tiempos de ejecución y eficacia en su implementación, para determinar la metodología eficiente en el cálculo de resistividades, en la parroquia Conocoto.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 3 de abril del año 2023

Atentamente,



Santiago Daniel Live Moncayo

1721879912

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Rogelio Alfredo Orizondo Martínez con documento de identificación N° 1757424195, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE WENNER Y SCHLUMBERGER, MEDIANTE COMPARACIÓN DE TIEMPOS DE EJECUCIÓN Y EFICACIA EN SU IMPLEMENTACIÓN, PARA DETERMINAR LA METODOLOGÍA EFICIENTE EN EL CÁLCULO DE RESISTIVIDADES, EN LA PARROQUIA CONOCOTO**, realizado por Santiago Daniel Live Moncayo con documento de identificación N° 1721879912, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 3 de abril del año 2023

Atentamente,



Ing. Rogelio Alfredo Orizondo Martínez Msc.
1757424195

ÍNDICE GENERAL

1.	Introducción.....	2
2.	Marco Teórico	2
2.1	Puesta a Tierra	2
2.1.1	Función de la puesta a tierra	2
2.1.2	Elementos o componentes de un sistema de puesta a tierra.....	3
2.2	Resistencia	3
2.2.1	Función de la resistencia dentro de la puesta a tierra	3
2.3	Resistividad	3
2.3.1	Resistividad del suelo y su medición	4
2.4	Método de Wenner	4
2.4.1	Wenner- α	4
2.4.2	Wenner- β	5
2.4.3	Wenner- γ	5
2.5	Método de Schlumberger.....	5
2.6	Software ETAP.....	6
2.7	Software IPI2win	6
2.8	Otros métodos	6
3.	Desarrollo.....	7
3.1	Planteamiento del Problema	7
3.2	Casos de estudio.....	7
3.3	Montaje en sitio	8
3.3.1	Parque Recreacional La Moya	8
3.3.2	Conjunto San Simón 1 de Conocoto.....	8
3.3.3	Parque 6 de Junio, Conocoto	8
3.4	Calibración.	9
3.5	Errores reportados por los programas.....	9
3.6	Procesamiento de datos según el software ETAP e IPI2WIN.....	9
3.7	Componente objetiva y subjetiva del tiempo de montaje y medición.....	9
3.8	Selección de los terrenos para realizar las mediciones.....	10
4.	Resultados	10
4.1	Modelado en ETAP	10
4.2	Modelado en IPI2win	11
5.	Análisis de los Resultados.....	11
5.1	Humedad de los terrenos	11

5.2	Interpretación sobre las resistencias «aparentes» entre los métodos.	11
5.3	Obtención de los modelos de dos estratos a partir de los promedios.	12
5.4	Promedio y Desviación estándar por tiempo	12
5.5	Análisis de resultados entre Wenner alfa y gamma, con ETAP.....	12
5.6	Análisis de resultados entre Wenner alfa y Schlumberger, con IPI2WIN.	13
5.7	Análisis de resultados entre programas.....	13
6.	Conclusiones	13
7.	Recomendaciones y sugerencias	13
8.	Referencias	14
8.1	Matriz de Estado del arte	16
8.2	Resumen de indicadores	19
9.	Anexos	21
9.1	Datos de tablas de mediciones brutas de los sitios de estudio.....	21
9.2	Evidencia fotográfica de los trabajos ejecutados.....	33
9.3	Mediciones brutas en la UPS – Sede Quito, Ecuador.	35
9.4	Evidencia fotográfica de mediciones en la UPS – Sede Quito, Ecuador.....	35
9.4.1	Configuración Wenner alfa con separación de 2 metros	35
9.4.2	Configuración Wenner beta con separación de 2 metros	36
9.4.3	Configuración Wenner gamma con separación de 2 metros	37
9.4.4	Configuración Wenner alfa con separación de 1 metro	38
9.4.5	Configuración Wenner beta con separación de 1 metro	39
9.4.6	Configuración Wenner gamma con separación de 1 metro	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variables de la resistencia eléctrica de un conductor cilíndrico. [Autor].....	3
Figura 2. Representación del método Wenner. [Autor]	4
Figura 3. Representación de la variante Wenner Alfa. [Autor]	4
Figura 4. Representación de la variante Wenner Beta. [Autor]	5
Figura 5. Representación de la variante Wenner Gamma. [Autor].....	5
Figura 6. Representación del método de Schlumberger. [Autor].....	6
Figura 7. Configuración del método Wenner a lo largo del eje N-S. [Autor]	8
Figura 8. Configuración del método Schlumberger a lo largo del eje N-S. [Autor].....	8
Figura 9. Parque Recreacional La Moya. [Autor].....	8
Figura 10. Conjunto San Simón I de Conocoto. [Autor].....	8
Figura 11. Parque 6 de junio, Conocoto. [Autor].....	9
Figura 12. Indicador de la temática del estado del arte	19
Figura 13. Indicador de formulación del problema del estado del arte	19
Figura 14. Indicador de solución del estado del arte.....	20
Figura 15. Campo de trabajo - Conjunto San Simón 1 de Conocoto.....	33
Figura 16. Configuración armada - Conjunto San Simón 1 de Conocoto.....	33
Figura 17. Ejecución del telurómetro - Conjunto San Simón 1 de Conocoto.....	34
Figura 18. Verificación de Wenner alfa con una separación de 2 metros	35
Figura 19. Verificación del resultado de Wenner alfa con una separación de 2 metros.....	36
Figura 20. Verificación de Wenner beta con una separación de 2 metros.....	36
Figura 21. Verificación del resultado de Wenner beta con una separación de 2 metros	36
Figura 22. Verificación de Wenner gamma con una separación de 2 metros.....	37
Figura 23. Verificación del resultado de Wenner gamma con una separación de 2 metros	37
Figura 24. Verificación de Wenner alfa con una separación de 1 metro	38
Figura 25. Verificación del resultado de Wenner alfa con una separación de 1 metro.....	38
Figura 26. Verificación de Wenner beta con una separación de 1 metro.....	39
Figura 27. Verificación del resultado de Wenner beta con una separación de 1 metro.....	39
Figura 28. Verificación de Wenner gamma con una separación de 1 metro	40
Figura 29. Verificación del resultado de Wenner gamma con una separación de 1 metro.....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelos generados por el software ETAP.....	10
Tabla 2. Modelos generados por el software IPI2win	11
Tabla 3. Promedio y Desviación estándar del tiempo de ejecución.	13
Tabla 6. Matriz de Estado del arte.....	16
Tabla 7. Parque Recreacional La Moya - Datos brutos dos metros.....	21
Tabla 8. Parque Recreacional La Moya - Datos brutos cuatro metros	22
Tabla 9. Parque Recreacional La Moya - Datos brutos seis metros	23
Tabla 10. Parque Recreacional La Moya - Datos brutos ocho metros.....	24
Tabla 11. Conjunto San Simón 1 de Conocoto - Datos brutos dos metros	25
Tabla 12. Conjunto San Simón 1 de Conocoto - Datos brutos cuatro metros	26
Tabla 13. Conjunto San Simón 1 de Conocoto - Datos brutos seis metros.....	27
Tabla 14. Conjunto San Simón 1 de Conocoto - Datos brutos ocho metros.....	28
Tabla 15. Parque 6 de junio de Conocoto - Datos brutos dos metros	29
Tabla 16. Parque 6 de junio de Conocoto - Datos brutos cuatro metros.....	30
Tabla 17. Parque 6 de junio de Conocoto - Datos brutos seis metros.....	31
Tabla 18. Parque 6 de junio de Conocoto - Datos brutos ocho metros.....	32
Tabla 19. Universidad Politécnica Salesiana - Datos brutos 1 y 2 metros	35

EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE WENNER Y SCHLUMBERGER, MEDIANTE COMPARACIÓN DE TIEMPOS DE EJECUCIÓN Y EFICACIA EN SU IMPLEMENTACIÓN, PARA DETERMINAR LA METODOLOGÍA EFICIENTE EN EL CÁLCULO DE RESISTIVIDADES, EN LA PARROQUIA CONOCOTO.

Resumen

En este trabajo se desarrolla una comparación entre los métodos de Wenner y sus tres variantes (alpha, beta, gamma); así como, Schlumberger para la medición de resistividades aparentes, que se utilizan ampliamente en los estudios de puesta a tierra y protección catódica.

Para ello, se comparan los tiempos de implementación, en el campo de cada uno de los métodos anteriormente citados, y se validan los resultados del procesamiento de las resistividades aparentes, se emplea ETAP e IPI2WIN, para calcular los modelos de dos estratos por eje y emplazamiento, esto incluye el error relativo, que se obtiene por cada programa.

Se seleccionaron tres emplazamientos, para las mediciones, todos ubicados en la parroquia de Conocoto, perteneciente al Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador. En cada emplazamiento se seleccionaron 4 ejes ortogonales y 4 distancias. El tiempo de cada montaje, para una distancia específica fue registrado.

Palabras Clave: Resistencia, Medida de resistencia eléctrica, Medida de corriente, Medida de voltaje, Medida de suelo, Propiedades del suelo, Puesta a tierra.

Abstract

In this paper we develop a comparison between Wenner's methods and their three variants (alpha, beta, gamma). As well as Schlumberger for the measurement of apparent resistivities, which are widely used in grounding and cathodic protection studies.

To do this, the implementation times are compared, in the field of each of the methods mentioned above, and the results of the processing of apparent resistivities are validated, ETAP and IPI2win are used, to calculate the models of two strata per axis and location, this includes the relative error, which is obtained for each program.

Three sites were selected for the measurements, all located in the parish of Conocoto, belonging to the Metropolitan District of Quito, Ecuador. At each site, 4 orthogonal axes and 4 distances were selected. The time of each assembly, for a specific distance was recorded.

Keywords: Resistance, Electrical resistance measurement, Current measurement, Voltage measurement, Soil measurement, Soil properties, Grounding.

1. Introducción

La mayoría de los diseños eléctricos cuentan con un sistema de puesta a tierra; en otros casos, puede contar únicamente con un electrodo a tierra. Sin embargo, algunos de estos diseños implican la tenencia de un sistema de puesta a tierra, que funcione solamente en función de las especificaciones de protecciones requeridas, para los equipos y el personal, pero no suelen estar acompañados de un estudio de las resistividades del suelo donde están instalados.

Por tanto, puede que estos sistemas de tierra no cumplan con todos los requisitos técnicos, esto significa que invertir en un sistema de puesta a tierra sin haberse realizado un previo estudio de suelos, puede representar pérdidas económicas.

Para realizar este trabajo de investigación se seleccionaron tres áreas de estudio, dentro de la parroquia de Conocoto, en Ecuador las cuales son: el Parque Recreacional La Moya, el Conjunto San Simón 1 de Conocoto y el Parque 6 de Junio de Conocoto. En los cuales se verificarán la posición vertical de los ejes N-S, E-O, NE-SO y NO-SE, con la ayuda de una brújula para colocar los electrodos, según la configuración del método de Wenner y sus variantes y del método de Schlumberger.

El método de Wenner y sus variantes; así como, el método de Schlumberger determinará la configuración o posición de los electrodos, a estos se los entierran parcialmente, en el suelo. El telurómetro, de acuerdo con la configuración realizará la inyección de una corriente a una determinada frecuencia, entre dos electrodos y se medirá la diferencia de potencial entre otro par de electrodos.

Junto con la información de la configuración electródica y la medición de

voltaje y corriente, o equivalentemente de la resistencia, replicado para los cuatro ejes cardinales, se medirá el tiempo de montaje del conjunto de electrodos. Este tiempo tiene una componente asociada a factores propios de quien mide; por tanto, es un factor subjetivo. También presenta una componente relacionada con el tipo de suelo: húmedo o seco, arcilloso o compacto. Este factor en cambio es objetivo, como lo es el método.

Se realizarán los cálculos de las resistividades aparentes para introducir los datos en los softwares ETAP e IPI2win, para obtener los modelos. El modelo está formado por las resistividades de los dos estratos, la profundidad o espesor del estrato o capa superficial y el error asociado al modelo que reporta el mismo programa.

2. Marco Teórico

Se presenta a continuación algunos conceptos relacionados con la presente investigación.

2.1 Puesta a Tierra

Se conoce que la puesta a tierra es un grupo de electrodos metálicos que se colocan de forma horizontal y/o vertical, interconectados entre sí, que permiten establecer una referencia de voltaje cero; de este modo, se da protección a los equipos, de un sistema eléctrico.[1], [2]

2.1.1 Función de la puesta a tierra

El electrodo enterrado en un determinado suelo funciona al derivar las corrientes de falla a tierra de una forma segura.

Por consiguiente, una puesta a tierra efectúa que las corrientes de falla retornen hacia su fuente de generación. Se evita que las corrientes por fallas en la operación de las máquinas generen potenciales peligrosos.[3], [4]

Con esto, se busca disminuir o controlar el voltaje que puede aparecer entre las

estructuras metálicas respecto de la tierra.[3]

2.1.2 Elementos o componentes de un sistema de puesta a tierra

Una puesta a tierra posee elementos que permiten la protección del personal, ante todo; así como, también de los equipos[2], [4].

1) Conductor de Protección.

Tiene como finalidad dirigir la corriente de falla hacia su fuente de generación por intermedio de él mismo.[2]

2) Conductores de continuidad.

Permite unir las diferentes piezas metálicas que no son conductoras normales de la corriente de falla, para garantizar la continuidad y evitar la diferencia de potencial. [2]

3) Electrodo a tierra.

Una varilla, una barra o un conductor de cobre que entra parcial o totalmente en contacto con el suelo canaliza la corriente a su fuente y por tanto evita o reduce la formación de potenciales en la tierra, especialmente aquellos peligrosos para el hombre.[2]

2.2 Resistencia

Es la medición del parámetro a un sistema de electrodos o de un electrodo que se encuentra enterrado. [5], [6]

2.2.1 Función de la resistencia dentro de la puesta a tierra

El accionar de la resistencia funciona al unir el electrodo con la tierra. Esta unidad será muy baja, si este electrodo está al desnudo sin ningún tipo de material aislante. [7]

La resistencia que se produce al unirse el electrodo con la tierra suele ser un valor que se emplea como figura de mérito. Esta establece un valor cuantitativo, orientativo o de referencia que sin embargo debe ser siempre contrastado, con el informe de potenciales que emiten los programas de simulación de los sistemas de tierras. La mayoría de normas, estándares y otros

documentos sucedáneos ofrecen el valor de 5Ω . [7]

La forma de logra medir una determinada resistencia de una puesta a tierra se la verifica a través del IEEE 81. También, se puede verificar que las resistencias estén por debajo de los valores recomendados, según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2645. La resistencia eléctrica que se encuentra en cualquier material está en función de las características del propio material; así como, la forma física, resistividad del cobre o aluminio, área y longitud de la sección transversal.[7]

La resistencia eléctrica se la puede definir que es directamente proporcional a su longitud e inversamente proporcional a la sección transversal. De este modo, la constante de proporción se la conoce como la resistividad, una propiedad de todo material sea este un buen conductor o no. [7], [8]

La resistencia presenta la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \quad (1)$$

Donde:

R: Es la resistencia de un determinado material en ohm.

ρ : es la resistividad en ohm por metro.

L: es la longitud de un determinado material en metros.

A: es el área transversal en metros cuadrados.

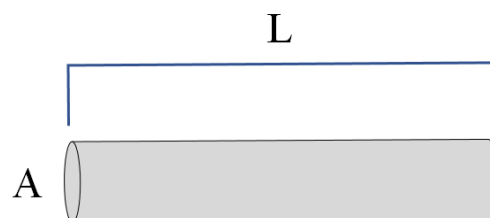


Figura 1. Variables de la resistencia eléctrica de un conductor cilíndrico. [Autor]

2.3 Resistividad

Es una propiedad eléctrica de todo material sea conductor o no conductor. Se trata de un

parámetro esencial al momento de pretender simular o modelar un sistema de puesta a tierra, pues sirve a manera de insumo o entrada a los programas de diseño de tierra. Se puede encontrar la resistividad del suelo donde eventualmente se instale un sistema de puesta a tierra. [7], [9]

2.3.1 Resistividad del suelo y su medición

Todos los métodos existentes para el cálculo de resistividades buscan medir la resistividad aparente del suelo; tomando en cuenta la separación que existe en medio de los electrodos, algunos inyectan corriente y otros miden voltaje[10]. Con ello, se busca obtener un modelo matemático.

Usualmente este modelo es de dos estratos de suelos, cada uno de ellos con un valor homogéneo de resistividad real. A veces es posible reducir el modelo a un solo estrato.

El modelo busca reproducir el comportamiento del suelo medido.[11] Para ello, el modelo se lo acompaña con un error que cuantifica qué tan alejado está de las mediciones de campo. Al comparar dos modelos obtenidos con un mismo conjunto de valores medidos, se puede afirmar que el modelo que exhiba un error mayor es más inexacto que el de menor error. [10]

2.4 Método de Wenner

Es un método de prospección para lograr medir la resistividad eléctrica del suelo. Este se fundamenta de acuerdo con la disposición equidistante de cuatro electrodos, Figura 2. Los electrodos son alineados rectamente, a lo largo de un eje imaginario e introducidos a una profundidad en el suelo lo suficiente como para que los electrodos puedan realizar su función apropiadamente. [12], [13]

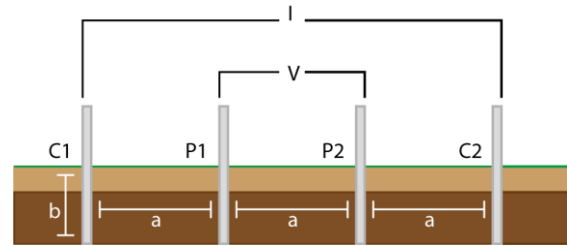


Figura 2. Representación del método Wenner. [Autor]

2.4.1 Wenner-a

La variante Wenner Alfa (originalmente Alpha) se visualiza en la Figura 3. Los electrodos siguen teniendo una separación equidistante entre ellos. Para medir la resistividad del suelo, se procede a inyectar corriente, cuya magnitud la regula el telurómetro. La inyección es realizada mediante los electrodos Ci de los extremos y el equipo registra la diferencia de voltajes en los electrodos internos Pi. [14], [15]

Configuración Wenner Alfa

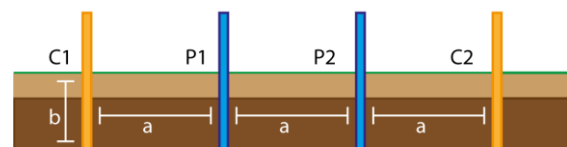


Figura 3. Representación de la variante Wenner Alfa. [Autor]

Si la profundidad de los electrodos cumple la relación $\frac{a}{b} > 20 \cdot b$ donde b es la profundidad del enterramiento del electrodo, la resistividad aparente se puede aproximar de la siguiente manera:[16]

$$\rho = 2\pi \cdot A \cdot \frac{V}{I} \quad (2)$$

Donde:

ρ : es la resistividad en unidades de ohm por metro.

A : es espacio entre los electrodos en unidades de metros.

V : es el voltaje previamente medido.

I : es la corriente inyectada.

En el caso de que la profundidad de los electrodos no cumpla la relación $\frac{a}{b} > 20 \cdot b$, se usa la siguiente fórmula.[16]

$$\rho = \frac{4\pi \cdot a \cdot \frac{V}{I}}{\left[1 + \left[\frac{2a}{(a^2 + 4b^2)^{0.5}}\right] - \frac{2a}{(4a^2 + 4b^2)^{0.5}}\right]} \quad (3)$$

Donde:

ρ : es la resistividad promedio de profundidad enterrada según a en unidades de ohm por metro (Ωm).

a: es espacio entre los electrodos en unidades de metros (m).

b: es la profundidad de enterramiento del electrodo en metros (m).

V: es el voltaje medido (V).

I: es la corriente inyectada (A).

En la práctica, se suele limitar el enterramiento del electrodo de forma que no supere el 5% de la distancia entre los electrodos. Pero si ello no es posible, se emplea la fórmula exacta. Al incrementar la separación de los electrodos, se logra alcanzar mayores profundidades. Así es posible medir la resistividad de los estratos más alejados de la superficie. [17]

2.4.2 Wenner- β

Esta configuración posee el mismo principio de su versión original. Se distingue por el posicionamiento de los electrodos de corriente y de potencial, Figura 4. Para lograr medir la resistividad de un determinado suelo se procede a inyectar una corriente por los dos electrodos C_i posicionados en un extremo y el voltaje se mide con los electrodos P_i posicionados en el otro extremo [15], [16].

Configuración Wenner Beta

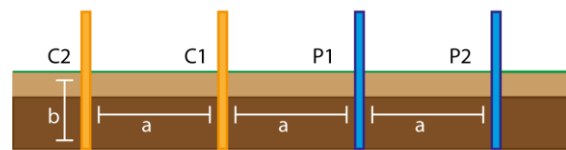


Figura 4. Representación de la variante Wenner Beta. [Autor]

2.4.3 Wenner- γ

Otra variante del método de Wenner es la configuración gamma. La posición de dichos electrodos se lo hace de acuerdo con la figura 5, alternando los electrodos de voltaje y corriente [14], [16].

Configuración Wenner Gamma

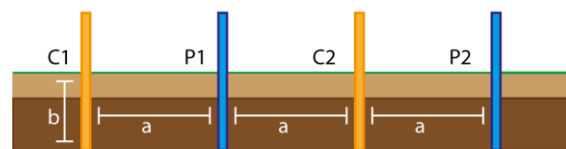


Figura 5. Representación de la variante Wenner Gamma. [Autor]

2.5 Método de Schlumberger

Se trata de otro método de prospección, para el cálculo de la resistividad eléctrica.

Consiste en la colocación de cuatro electrodos. Sin embargo y a diferencia de Wenner, el espaciamiento entre electrodos no es constante. La distancia entre los electrodos céntricos es constante, por lo cual la lectura para las mediciones parten de la separación de los electrodos, de los costados, referente de los electrodos céntricos, que son distanciados en múltiplos na del distanciamiento de los electrodos céntricos a . [13], [18]

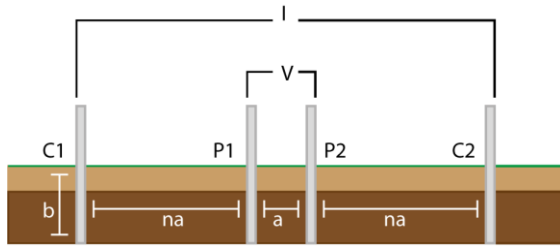


Figura 6. Representación del método de Schlumberger.
[Autor]

2.6 Software ETAP

Con la ayuda del programa ETAP se procesa la información del levantamiento que se realiza mediante el método Wenner.

La pestaña denominada función o el módulo de resistividad del suelo, transforma las medidas de las resistividades aparentes, tomadas a lo largo de un eje y se obtiene como resultado un modelo matemático, con las resistividades reales de dos estratos, la profundidad o espesor del estrato superficial y la estimación del error cuadrático medio, RMS.[19]

2.7 Software IPI2win

El programa IPI2win o IP2Win es un programa de interpretación de perfiles, que hace uso de uno de los métodos eléctricos más conocidos, el de resistividad CC (DC Resistivity) empleados para solucionar problemas de alta complejidad dentro de la geingeniería. [20]

El software IPI2win fue desarrollado por el departamento de Geofísica de la Facultad de Geología de la Universidad Estatal de Moscú (Кафедра геофизики геологического факультета МГУ) y es distribuido por Geoscan - M LTD. El programa emplea técnicas de interpretación interactiva y semi - interactiva. [20]

Este programa realiza el procesamiento y la interpretación de datos de prospección geofísica, con varias configuraciones de electrodos, para secciones verticales, con un rango de resistividades de 0.0001 a 10000.[20]

También, permite procesar la información de los métodos que realizan la medición de

resistividad eléctrica de Wenner y Schlumberger. [20]

Una ventaja que posee el programa es que se obtiene un modelo multicapas. Los parámetros del modelo como resistividades, espesores, profundidades de los estratos y sus alturas o espesores son representados por una línea de color azul, en una escala de unidades semilogarítmicas, que se visualizan en una ventana independiente del modelo matemático tabular. Otra ventana, en cambio, muestra los parámetros del modelo dispuesto en forma de tablas, precedidas por el valor del error de ajuste.

La curva teórica del modelo que se pretende analizar se muestra con una línea de color rojo, en la ventana de la curva. Para el error dentro del ajuste representa la diferencia entre la curva teórica y la práctica. [20]

Para el desarrollo del presente trabajo, de carácter investigativo, se usa el mínimo número de estratos para los sondeos a realizase (2), si bien el programa permite la edición de estratos, añadiendo o reduciendo las mismas. Es necesario recordar el principio de economía o parsimonia, aplicable también en estudios de sistemas de tierra, al usar un modelo de dos estratos. El argumento se difiere en aplicaciones relacionadas con la protección catódica. [20]

Otra ventaja evidente que presenta el IPI2win respecto del ETAP es la posibilidad de emplear el método Schlumberger y algunas variantes de Wenner, dado que el ETAP solo parece procesar la información de las resistividades aparentes, a partir del método Wenner. [20]

2.8 Otros métodos

Existen otros métodos, más útiles antes de la aparición de los primeros computadores, que se empleaban para estimar el modelo de dos estratos, permitiendo calcular ambas resistividades y la profundidad de primer estrato. El método de Sunde, que es un método gráfico, y una metodología de

análisis iterativo descrito en el anexo del Anexo A del IEEE Std 81 se empleaban para el cálculo del modelo de dos estratos. [21]

3. Desarrollo

Dentro de esta sección se explica el procedimiento aplicado para realizar las mediciones en cada uno de los sitios.

3.1 Planteamiento del Problema

Algunos sistemas de puesta a tierra tienen un proyecto de diseño basado únicamente en especificaciones de protecciones requeridas para el personal y los equipos.

No suelen estar acompañados de un estudio de suelos y por tanto se desconocen las resistividades que hay en los mismo. Si no cumplen todos los requerimientos técnicos, es posible que no se alcancen los valores solicitados de protección catódica o de puesta a tierra. Esto significa que hacer una inversión en un sistema de puesta a tierra, que no cuente con un previo estudio de suelos puede representar pérdidas económicas para una empresa o industria.

Uno puede plantear la interrogante de cuál de los métodos existentes pueden ser implementados de manera más expedita, dado que la construcción de infraestructuras eléctricas o el enterramiento de tuberías u otras estructuras metálicas dependen de un sistema de tierra o de un sistema de protección catódica. Por este motivo, requieren muchas veces rapidez en la toma de mediciones. También está la interrogante de cuál de los métodos es el más idóneo respecto del tipo de terreno.

Se seleccionaron tres sitios en la parroquia de Conocoto: Parque Recreacional La Moya, el Parque 6 de Junio y en el Conjunto San Simón 1. Se realizaron las mediciones necesarias para calcular las resistividades aparentes y los modelos de dos estratos. Se busca medir el tiempo del montaje de los métodos e identificar alguna ventaja comparativa entre ellos.

Como puede presentarse una correlación entre alguno de los métodos y el tipo de terreno, se han seleccionado al menos estos 3 sitios.

3.2 Casos de estudio

Se han seleccionado cuatro ejes: N-S, E-O, NE-SO y NO-SE. Para las distancias se han seleccionado 4 valores: para el método Wenner, el conjunto: 2 m, 4 m, 6 m y 8 m y, para el método Schlumberger, en las distancias entre electrodos de corriente de 1 m, 3 m, 5 m y 7 mientras que los electrodos de potencial una distancia de 2m.

Para cada posición de electrodos, se mide también el tiempo que tarda una persona en montar la configuración. El 1^{er} tiempo corresponde con el intervalo entre la extracción del equipamiento y sus accesorios, hasta el momento en que se inyecta la corriente. Los subsiguientes tiempos (2^{do}, 3^{ero} y 4^{to}) se miden desde que se desarma la configuración actual hasta que se inyecta de nuevo la corriente con el siguiente arreglo. Las tablas con los valores en bruto ofrecen estos tiempos (ver anexo); en cambio, las tablas del capítulo 4 «tiempo de montaje» es el resultado de sumar los 4 tiempos indicados más arriba.

Para la medición del tiempo se utiliza el cronómetro disponible como aplicación del equipo celular personal. El telurómetro da la resistencia del terreno para cada configuración o arreglo. La información fue registrada en varias tablas preparadas con anticipación para ello. Estas tablas con los datos brutos (tomados en el momento de las mediciones) se muestran en los anexos.

Por tanto, para cada variante del método Wenner se realizaron 4 mediciones, considerando las 4 distancias en cada uno de los 4 ejes, por cada uno de los 3 sitios, para un total de 48 mediciones.

Una vista en planta de los puntos donde se entierran los electrodos para una separación «a» se visualiza en la figura 7.

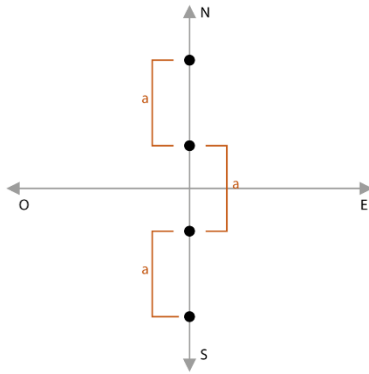


Figura 7. Configuración del método Wenner a lo largo del eje N-S. [Autor]

Para el método de Schlumberger se realizaron mediciones análogas. Visto en planta, los puntos donde se entierran los electrodos se visualizan en la figura 8.

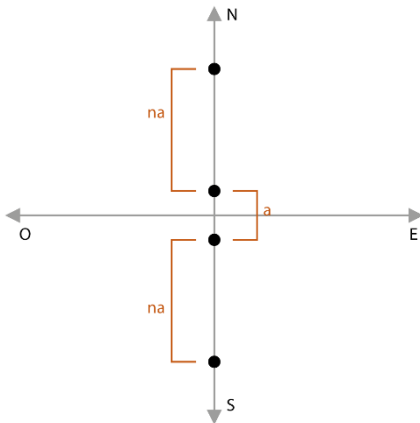


Figura 8. Configuración del método Schlumberger a lo largo del eje N-S. [Autor]

3.3 Montaje en sitio

Los sitios donde se realizaron las mediciones son los siguientes:

3.3.1 Parque Recreacional La Moya

El Parque Recreacional La Moya fue seleccionado por su gran extensión de terreno además de poseer a simple vista un suelo húmedo, con una temperatura ambiente de 19 °C. Durante el proceso de

montaje se encontraron rocas enterradas que implicó cambiar la posición de los electrodos, respetando el eje del montaje.



Figura 9. Parque Recreacional La Moya. [Autor]

3.3.2 Conjunto San Simón 1 de Conocoto

Este sitio se seleccionó por su extensión de terreno, seguridad en el sitio y especialmente por tener el suelo accesible.

Este tipo de suelo se lo encontró húmedo. El montaje de los electrodos fue sencillo debido a que el suelo no estaba compacto y no hubo rocas enterradas que evitarán el enterramiento del electrodo. La temperatura ambiente era de 14 °C.



Figura 10. Conjunto San Simón I de Conocoto. [Autor]

3.3.3 Parque 6 de Junio, Conocoto

Este lugar se seleccionó por su terreno, también apto para mediciones en medio de la parroquia de Conocoto.

Se hallaron rocas al enterrar las varillas lo cual significó cambiar la posición de los electrodos para conservar las distancias y los ejes.



Figura 11. Parque 6 de junio, Conocoto. [Autor]

Una vez obtenidas las resistencias aparentes del terreno de los tres sitios elegidos se procedió a modelar los escenarios en el software IPI2WIN y ETAP.

3.4 Calibración.

El presente trabajo se realiza entendiendo que el equipo, con el cual se efectúan las mediciones de resistividad aparente está calibrado según el protocolo descrito en IEC 17025.

El telurómetro empleado es un *earth/ground tester Fluke 1625.2* con número serial ST 151011387 y con código interno de la institución 611601.

3.5 Errores reportados por los programas.

Los errores reportados por los programas ETAP e IPI2WIN se deben interpretar, en el sentido siguiente: se trata de la diferencia entre el modelo *exacto*, usualmente de varios estratos, obtenido por el programa respecto del modelo aproximado de dos estratos (modelo biestrato o biestratificado) que es el reportado por ambos programas.

Este reporte es automático en el caso del ETAP, pero el reporte obtenido por el IPI2WIN en cambio es solicitado por el usuario en modo manual.

Al comparar los errores relativos, uno más elevado solo significa que el programa ofrece un modelo de dos estratos, cuyo comportamiento matemático se aleja «más» que el modelo original de varios estratos calculado por el programa. A este respecto, también es de notar que el ETAP no ofrece ese modelo multiestrato, pero en cambio sí lo ofrece el IPI2WIN.

3.6 Procesamiento de datos según el software ETAP e IPI2WIN.

ETAP permite procesar la información de las resistividades aparentes del método Wenner. Sin embargo, nunca se indica en las funcionalidades del módulo, cuál variante Wenner es la preprogramada en el software. Esto significa que los modelos que se obtengan con el ETAP a partir de las 3 variantes usadas en este trabajo no necesariamente van a coincidir en un modelo.

El programa IPI2WIN procesa la información de las variantes alfa y beta del Wenner, así como Schlumberger.

3.7 Componente objetiva y subjetiva del tiempo de montaje y medición.

Este trabajo se realiza por medio de un solo ejecutor para tomar las mediciones del tiempo, necesario para armar cada método pueden variar entre diferentes ejecutores, dada la experticia o pericia que se exhiba al momento de tomar las mediciones; así como, al tipo de terreno.

Esta es una componente subjetiva del tiempo de ejecución, que es necesario considerar. Una forma de suprimir esta componente subjetiva es incluir más terrenos y ejecutores, para que el promedio

del tiempo de ejecución compense las destrezas de los ejecutores y el tipo de terreno no sea preponderante al momento de evaluar esos tiempos promedios.

Una observación final, sobre cómo se tomaron esos tiempos: se entiende en este trabajo, que el tiempo de medición registrado va desde que se comienzan a enterrar las varillas hasta que se realiza la inyección de corriente y se registra la resistencia aparente. Cada método se montó desde una condición previa en la que no había nada medido y no había ninguna varilla enterrada previamente, para las variantes del método Wenner y solo las varillas internas estaban enterradas en el caso del método Schlumberger.

3.8 Selección de los terrenos para realizar las mediciones.

La selección de los terrenos en la parroquia de Conocoto no obedece a ningún criterio establecido previamente. Solo se seleccionaron terrenos «ceranos entre sí» para facilidad logística del ejecutor.

4. Resultados

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos con los programas IPI2WIN y ETAP.

Son las últimas versiones del programa ETAP las que disponen de una funcionalidad, para procesar las resistividades medidas o aparentes y calcular el modelo de dos estratos. Con ello, se puede analizar el comportamiento eléctrico de una malla de tierra a

implementar o bien calcular la cantidad de ánodos a utilizar en un diseño para protección catódica. Sin embargo, el único método programado en el módulo de tierras es en base al Wenner de 4 electrodos, pines o varillas.

El método Wenner posee las variantes, conocidas en la literatura técnica como Alfa, Beta y Gamma, de acuerdo con la posición de los electrodos de voltaje y corriente entre sí. El método Schlumberger también es muy conocido para obtener este modelo de suelos, como ya se ha explicado.

Otro programa usado para obtener el modelo biestratificado es el IPI2win. Este último contiene más opciones que el ETAP para obtener el modelo del suelo, por lo que es posible transferir el modelo de un programa al otro, si fuera necesario, cuando se emplee un método que no sea el de Wenner de 4 electrodos. Sin embargo, la transferencia del modelo no es automática y se lo debe realizar manualmente.

Todas las tablas del capítulo presentan dimensionalmente las siguientes unidades: t(s) [tiempo], d(m) [profundidad del 1^{er} estrato], $\rho_1(\Omega m)$ [resistividad real del 1^{er} estrato], $\rho_2(\Omega m)$ [resistividad real del 2^{do} estrato] y Error (%) [error relativo].

En el anexo se encuentran los valores registrados originalmente. Los ejes donde se realizaron las mediciones de campo están abreviados y significan:

- N – S: [Norte – Sur]
- E – O: [Este – Oeste]
- NE – SO: [Noreste – Suroeste]
- NO – SE: [Noroeste – Sureste]

4.1 Modelado en ETAP

Tabla 1. Modelos generados por el software ETAP

Método Wenner Alfa				Método Wenner Gamma			
Parque Recreacional La Moya				Parque Recreacional La Moya			
t=16:48	d= 1.23	$\rho_1= 808.787$	$\rho_2= 29.845$	t=16:23	d= 1	$\rho_1= 179.818$	$\rho_2= 17.643$
Error = 5.83				Error = 37.71			
Conjunto San Simón 1 de Conocoto				Conjunto San Simón 1 de Conocoto			

t=11:49	d= 3.06	$\rho_1= 39.68$	$\rho_2= 19.59$	t=11:33	d= 3.82	$\rho_1= 19.958$	$\rho_2= 16.998$
Error = 13.4				Error = 6.18			
Parque 6 de Junio de Conocoto				Parque 6 de Junio de Conocoto			
t=15:19	d= 1.13	$\rho_1= 91.659$	$\rho_2= 22.01$	t=15:45	d= 2.79	$\rho_1= 21.154$	$\rho_2= 13.112$
Error = 18.78				Error = 25.1			

4.2 Modelado en IPI2win

Tabla 2. Modelos generados por el software IPI2win

Método Wenner Alfa				Método Schlumberger			
Parque Recreacional La Moya				Parque Recreacional La Moya			
t=16:48	d= 1.02	$\rho_1= 1276$	$\rho_2= 36.5$	t= 14:57	d= 0.466	$\rho_1= 327$	$\rho_2= 58.6$
Error = 3.64				Error = 10.6			
Conjunto San Simón 1 de Conocoto				Conjunto San Simón 1 de Conocoto			
t=11:49	d= 1	$\rho_1= 89.1$	$\rho_2= 24.7$	t= 9:58	d= 0.499	$\rho_1= 192$	$\rho_2= 27.2$
Error = 3.37				Error = 9.33			
Parque 6 de Junio de Conocoto				Parque 6 de Junio de Conocoto			
t=15:19	d= 1	$\rho_1= 143$	$\rho_2= 21.7$	t= 14:28	d= 0.629	$\rho_1= 167$	$\rho_2= 21.5$
Error = 14.5				Error = 3.08			

5. Análisis de los Resultados

Se muestra a continuación una discusión sobre los puntos más resaltantes de los resultados.

5.1 Humedad de los terrenos

Las mediciones se realizan en dos momentos diferentes del año: un primer conjunto de mediciones se ejecutan a principios del mes de mayo 2022, cuando estamos en época invernal en la sierra ecuatoriana.

Un segundo grupo de mediciones se realizan a mediados de octubre 2022, cuando aún se presentan pocas precipitaciones en la sierra.

Con todo esto en consideración, se ha tomado nota de las condiciones del terreno al momento de realizar las mediciones. En todos los casos, sin excepción, los terrenos están humedecidos por la ocurrencia de lluvias durante el año de medición 2022.

5.2 Interpretación sobre las resistencias «aparentes» entre los métodos.

Se puede realizar un primer acercamiento interpretativo a los datos en bruto que se muestran en los anexos, para las variantes del método Wenner: la intuición humana puede pensar que, para una misma distancia de electrodos, las variantes del método Wenner pudieran arrojar valores muy similares en la medición de la resistencia aparente. Sin embargo, para una misma distancia entre electrodos, las mediciones de resistencias aparentes difieren entre sí de manera muy importante (ver Anexo 9).

La explicación a este comportamiento va más allá del alcance de este trabajo, pero sin duda está relacionada con la forma en la que las líneas de potenciales se forman en el subsuelo objeto de medición y cómo se los mide, al circular la corriente inyectada por el telurómetro.

Un examen más atento a los resultados permite de inmediato evidenciar valores de resistencia aparente en el método Wenner beta, que son mucho más elevados que sus

contrapartes. Esta valoración es en base a los valores promedios e individuales, aunque sí hay excepciones que no siguen esa «regla». Esto permite descartar todos los valores arrojados por el método Wenner beta al momento de obtener los modelos de suelos biestrato.

Cualquier valor de resistencia muy elevada respecto del promedio de su grupo de medición, 4 mediciones en cada uno de los 4 ejes, también se descarta para propósitos de la obtención del modelo, aunque al no considerarlo dentro del análisis de los tiempos de ejecución. Desde el punto de vista del procesamiento de datos, el promedio aritmético no será sobre los 4 valores medidos sino sobre 3 ó 2 valores si se han descartado 1 ó 2 valores de resistencias aparentes, respectivamente.

Con ello, también se descartan todos los valores fuera de la tendencia, presentes en los métodos Wenner alfa o gamma y Schlumberger.

5.3 Obtención de los modelos de dos estratos a partir de los promedios.

La tabla 1 muestra los resultados del procesamiento de la información de las resistividades aparentes a partir de las resistencias aparentes, empleando ETAP, obteniéndose los modelos aproximados de dos estratos con el error asociado.

La tabla 2 muestra los resultados del procesamiento de la información de las resistividades aparentes a partir de las resistencias aparentes, empleando IPI2WIN, obteniéndose también los modelos aproximados de dos estratos con el error asociado.

La información de cada eje se pierde al promediar las resistencias aparentes, pero se obtiene a cambio un solo modelo que además considera la información ponderada de la resistencia aparente de los 4 ejes del subsuelo a esa profundidad.

Es de observar que, en el caso de las variantes Wenner, el cálculo de la

resistividad aparente para $a = 2$, debe ser realizada con la fórmula exacta (ecuación 3) dado que no se cumple la condición de relación entre distancia interelectrodos y profundidad del enterramiento. El cálculo de la resistividad aparente para las demás distancias se puede realizar con la fórmula aproximada (ecuación 2), porque sí se cumple la condición de relación entre distancia interelectrodos y profundidad del enterramiento.

5.4 Promedio y Desviación estándar por tiempo

La tabla 3 muestra los resultados del tiempo promedio, respecto del eje, invertidos en el montaje y su desviación estándar. Ambas variables se muestran en minutos (min) con su fracción en segundos (s). Se puede observar una fuerte correlación entre los promedios, respecto de los 3 sitios, con valores de desviación estándar muy bajos.

Por lo que, para el método Wenner se depende fuertemente del sitio donde se realizan las mediciones. Hay una diferencia de tiempos promedios de casi 5 minutos entre sitios. Entre variantes del Wenner, parece no haber diferencias sobre el tiempo invertido, como puede resultar lógico dado que la única diferencia entre las variantes Wenner es la posición de las varillas de inyección de corriente y las de potencial.

Si se comparan los valores del Wenner con los del Schlumberger, se observa que los promedios son algo menores, con diferencia de aproximadamente 1 minuto a favor del método Schlumberger. Con lo cual, este último conserva una pequeña ventaja. En todos los casos se obtuvieron lecturas.

5.5 Análisis de resultados entre Wenner alfa y gamma, con ETAP.

No parece haber ninguna correlación entre los resultados de las variantes Wenner. Es posible que el programa ETAP solo evalúe resultados del método Wenner alfa.

5.6 Análisis de resultados entre Wenner alfa y Schlumberger, con IPI2WIN.

Tampoco parece haber ninguna correlación entre los resultados con la excepción de las resistividades en el estrato inferior para los casos San Simón y 6 de Junio.

5.7 Análisis de resultados entre programas.

Al comparar el mismo método Wenner entre los programas, hay similitud entre los valores de la resistividad del estrato inferior y la profundidad del estrato, pero no cuando se comparan entre sí los valores de la resistividad en el estrato superior.

Tabla 3. Promedio y Desviación estándar del tiempo de ejecución.

Método Aplicado	Wenner Alfa		Wenner Beta		Wenner Gamma		Schlumberger	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Parque Recreacional La Moya	16:48	0.01	16:17	0.02	16:23	0.02	14:57	0.01
Conjunto San Simón 1 de Conocoto	11:49	0.03	10:46	0.09	11:33	0.05	09:58	0.02
Parque 6 de Junio de Conocoto	15:19	0.02	15:24	0.03	15:45	0.03	14:28	0.02

6. Conclusiones

El método Schlumberger ofrece una ligera ventaja respecto de las variantes Wenner en cuanto a los tiempos de implementación en campo.

Los métodos de prospección analizados parecen tener una fuerte dependencia respecto del sitio de medición y, por tanto, del subsuelo tanto en sus condiciones de humedad como en su resistividad y en la presencia de rocas al momento de realizar la medición.

El método Wenner beta parece no ser apropiado para las mediciones de resistividades eléctricas aparentes, con los terrenos seleccionados.

El programa IPI2win es el único que procesa la información del método Schlumberger, lo cual implica que no hay forma de contrastar los resultados del modelo obtenido mediante este software con del ETAP. Sería necesario el uso de otros programas «certificados» para la obtención del modelo y no hay muchos en el mercado. No se puede afirmar lo mismo de los programas propietarios que podrían

disponer las empresas de consultoría en ingeniería.

Al emplear el método Wenner, específicamente la variante alfa, sí es posible contrastar entre los resultados de los modelos con los programas ETAP e IPI2WIN.

7. Recomendaciones y sugerencias

Es recomendable llevar las tablas preparadas para el registro de la información, si no se tiene la posibilidad de registrar la información en el telurómetro.

Esto reduce el tiempo de implementación del método a usar.

Se debe procesar la información de las resistividades aparentes en el campo, para proceder con las remediciones, en caso de que surjan discrepancias entre un eje y el otro, a fin de confirmar o descartar la heterogeneidad del terreno o la posible presencia de estructuras soterradas.

Al usar programas propietarios, es razonable realizar este procedimiento de contraste de los resultados con el programa IPI2WIN en caso de emplear el método Schlumberger. Al usar el método Wenner es

recomendable obtener los modelos con ambos programas, ETAP e IPI2WIN y elegir o bien el caso más desfavorable o bien un modelo que recoja las aportaciones de ambos programas al momento de seleccionar el de dos estratos para la modelación correspondiente.

Se sugiere realizar más mediciones en otros terrenos y seleccionar un conjunto de distancias más amplios.

8. Referencias

- [1] M. Hannig, "Calculation of the assembled grounding resistance from complex grounding systems by using analytical considerations only," *ICHVE 2018 - 2018 IEEE Int. Conf. High Volt. Eng. Appl.*, no. 3, pp. 18–21, 2018, doi: 10.1109/ICHVE.2018.8641921.
- [2] L. Zhou, J. He, H. Xu, P. Wang, Y. Chen, and S. Chen, "Simulation of impact of vertical grounding electrode on impulse grounding resistance of substation grounding network," *2017 2nd Int. Conf. Integr. Circuits Microsystems, ICICM 2017*, vol. 2017-Novem, pp. 18–22, 2017, doi: 10.1109/ICAM.2017.8242130.
- [3] F. M. González-Longatt, "Sistemas de Puesta a Tierra y Protección Contra Descargas Atmosféricas," *II Semin. en Segur. y Riesgos Electr. en la Ind.*, vol. 5546954, pp. 1–9, 2007.
- [4] R. G. Márquez, *Puesta a Tierra de Instalaciones Eléctricas*, 1st ed. Barcelona, España: MARCOMBO S.A., 1990.
- [5] Y. Hyodo, T. Hatakeyama, R. Kibushi, and M. Ishizuka, "Measurement of thermal and electrical contact resistance between conductive materials," *2018 Int. Conf. Electron. Packag. iMAPS All Asia Conf. ICEP-IAAC 2018*, pp. 132–135, 2018, doi: 10.23919/ICEP.2018.8374687.
- [6] A. A. Khafizov, R. S. Akhmetshin, R. T. Nasibullin, and L. R. Sarimov, "Method Increasing the Reliability of the Soil Measured Specific Electrical Resistance in the Field," *2019 Int. Multi-Conference Ind. Eng. Mod. Technol. FarEastCon 2019*, pp. 19–22, 2019, doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934055.
- [7] L. Determinación and D. E. L. A. Acidez, "NORMA TÉCNICA ECUATORIANA Primera revisión," 2012.
- [8] U. Khayam, A. Risdiyanto, and Suwarno, "Reducing electrical contact resistance at highly loaded copper conductor using nickel and silver coating," *Proc. 2013 Jt. Int. Conf. Rural Inf. Commun. Technol. Electr. Technol. rICT ICEV-T 2013*, 2013, doi: 10.1109/rICT-ICEVT.2013.6741534.
- [9] M. Li, Y. Gao, T. Zhang, H. Wu, X. Lao, and Z. Chen, "Analysis of soil resistivity characteristics under meteorological conditions in Haikou City," *IEEE Int. Symp. Electromagn. Compat.*, vol. 2017-October, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/EMC-B.2017.8260388.
- [10] H. Lu *et al.*, "Soil resistivity modeling for temperature rise calculating of HVDC deep-well earth electrode," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 125, no. October 2020, p. 106537, 2021, doi: 10.1016/j.ijepes.2020.106537.
- [11] Q. de Cássia Goulart Ferreira, L. de Almeida Prado Bacellar, and J. H. Moreira Viana, "Evaluation of soil moisture by electrical resistivity in Oxisols of the central Brazilian savanna," *Geoderma Reg.*, vol. 26, no. June, 2021, doi: 10.1016/j.ijepes.2020.106537.

- 10.1016/j.geodrs.2021.e00408.
- [12] A. Villela-y-Mendoza, M. A. Perez-Flores, L. E. Ochoa-Tinajero, and E. Vargas-Huitzil, “Applying resistivity (dipole-dipole, Schlumberger, and Wenner) joint inversion to detect endokarst features in Quintana Roo, México,” *J. South Am. Earth Sci.*, vol. 106, no. January 2020, p. 103041, 2021, doi: 10.1016/j.jsames.2020.103041.
- [13] W. Ruan, R. D. Southey, S. Fortin, and F. P. Dawalibi, “Effective sounding depths for HVDC grounding electrode design: Wenner versus Schlumberger methods,” *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Transm. Distrib. Conf.*, vol. 2005, pp. 1–7, 2005, doi: 10.1109/TDC.2005.1546885.
- [14] M. Giménez, A. Menta, J. Ramos, M. Musso, and A. Flaquer, “Application of geophysical methods for the study of the libertad raigón hydrogeological system in uruguay,” *Bol. Geol. y Min.*, vol. 132, no. 1–2, pp. 185–196, 2021, doi: 10.21701/bolgeomin.132.1-2.019.
- [15] C. Lavalle, “Estudio comparativo de métodos de medición de la resistividad del terreno y propuesta de protocolo de medición,” *Univ. Piura*, vol. 1, pp. 1–138, 2021, [Online]. Available: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4987>.
- [16] D. M. Loke, “Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies - A practical guide to 2-D and 3-D surveys Copyright,” *Cangkat Minden Lorong*, vol. August 200, no. 1999, p. 61, 2000.
- [17] F. N. Moretti, J. L. Cabrera, G. A. Battaglia, O. H. Pivetta, and M. C. Luna, “Microelectrodes: When sensing has nonsense. a sensitivity analysis using finite element modelling,” in *2011 Argentine School of Micro-Nanoelectronics, Technology and Applications, EAMTA 2011*, 2011, pp. 21–25.
- [18] B. M. Vasantrao, P. J. Bhaskarrao, B. A. Mukund, G. R. Baburao, and P. S. Narayan, “Comparative study of Wenner and Schlumberger electrical resistivity method for groundwater investigation: a case study from Dhule district (M.S.), India,” *Appl. Water Sci.*, vol. 7, no. 8, pp. 4321–4340, 2017, doi: 10.1007/s13201-017-0576-7.
- [19] N. M. Tabatabaei and S. R. Mortezaeei, “Design of Grounding Systems in Substations By Etap Intelligent Software,” *Int. J. Technical Phys. Probl. Eng.*, vol. 2, no. March, pp. 45–49, 2010, [Online]. Available: <http://www.iotpe.com/IJTPE/IJTPE-2010/IJTPE-Issue2-Vol2-No1-Mar2010/9-IJTPE-Issue2-Vol2-No1-Mar2010-pp45-49.pdf>.
- [20] L. Pizarro, “Interpretación De Mediciones De Resistividad De Terreno Por Medio De Curvas De Patrón,” *Repos. Univ. Andrés Bello*, no. March 2015, pp. 1–157, 2014, doi: 10.13140/RG.2.1.2676.1122.
- [21] Anonim, *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System Sponsored by the Substations Committee IEEE Power and Energy Society*, vol. 2012, no. December. 2012.

8.1 Matriz de Estado del arte

Tabla 4. Matriz de Estado del arte

EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE WENNER Y SCHLUMBERGER, MEDIANTE COMPARACIÓN DE TIEMPOS DE EJECUCIÓN Y EFICACIA EN SU IMPLEMENTACIÓN, PARA DETERMINAR LA METODOLOGÍA EFICIENTE EN EL CÁLCULO DE RESISTIVIDADES, EN LA PARROQUIA CONOCOTO.																											
ITEM	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	DATOS			TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA					
			REVISTA Cuartil (Q1,Q2,Q3,Q4), Scielo, Conferencia	CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	MEDICIÓN	RESISTENCIA	MÉTODOS DE PROSPECCIÓN	RESISTIVIDAD APARENTE	RESISTIVIDAD REAL	PUESTA A TIERRA	CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD	CÁLCULO DEL MÉTODO WENNER ALFA	CÁLCULO DEL MÉTODO WENNER BETA	CÁLCULO DEL MÉTODO WENNER GAMMA	CÁLCULO DEL MÉTODO SCHLUMBERGER	CÁLCULO SUGN EL MÉTODO	SOLUCIÓN DE SOFTWARE ETAP	SOLUCIÓN DE SOFTWARE IPI2WIN	EVALUAR MÉTODO WENNER ALFA	EVALUAR MÉTODO WENNER BETA	EVALUAR MÉTODO WENNER GAMMA	EVALUAR MÉTODO SCHLUMBERGER	GENERACIÓN DE MODELOS POR SOFTWARE	EFICIENCIA EN EL CÁLCULO DE RESISTIVIDADES	SIMULACIÓN EN ETAP	SIMULACIÓN EN IPI2WIN	COMPARACIÓN DEL CÁLCULO
1	2018	Calculation of the assembled grounding resistance from complex grounding systems by using analytical considerations only	ICHVE 2018 - 2018 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application	5	☒			☒	☒	☒																	
2	2017	Simulation of impact of vertical grounding electrode on impulse grounding resistance of substation grounding network	2017 2nd International Conference on Integrated Circuits and Microsystems, ICICM 2017	7					☒	☒																	
3	2007	Sistemas de Puesta a Tierra y Protección Contra Descargas Atmosféricas	II Seminario en seguridad y Riesgos eléctricos en la industria	5		☒		☒		☒																	
4	1990	Puesta a Tierra de Instalaciones Eléctricas		35	☒	☒		☒		☒																	

8.2 Resumen de indicadores

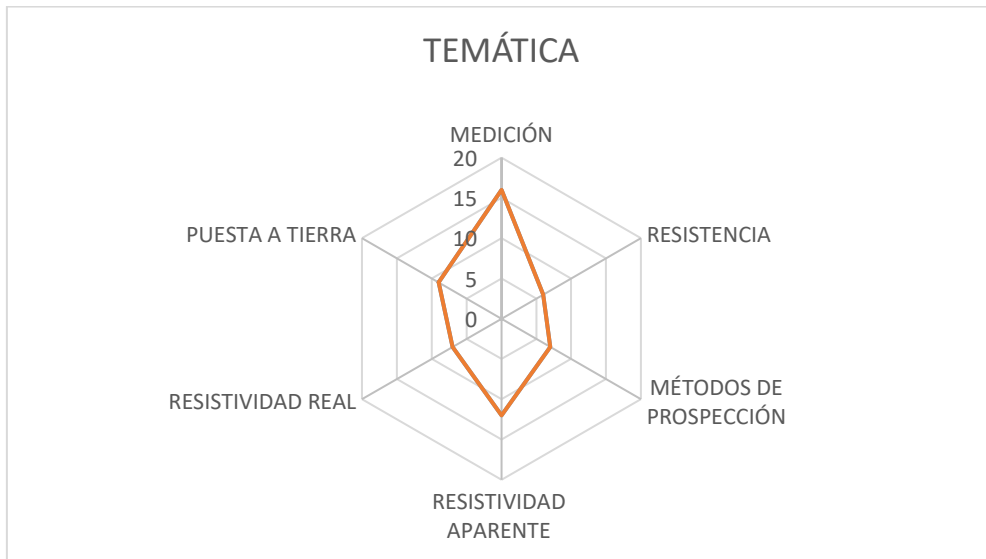


Figura 12. Indicador de la temática del estado del arte

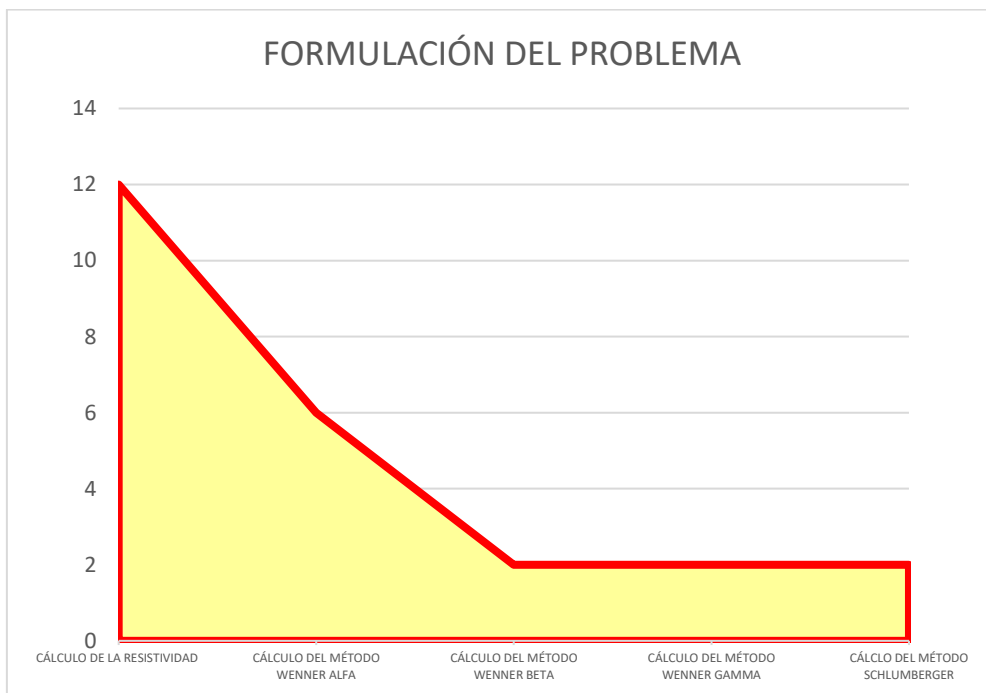


Figura 13. Indicador de formulación del problema del estado del arte

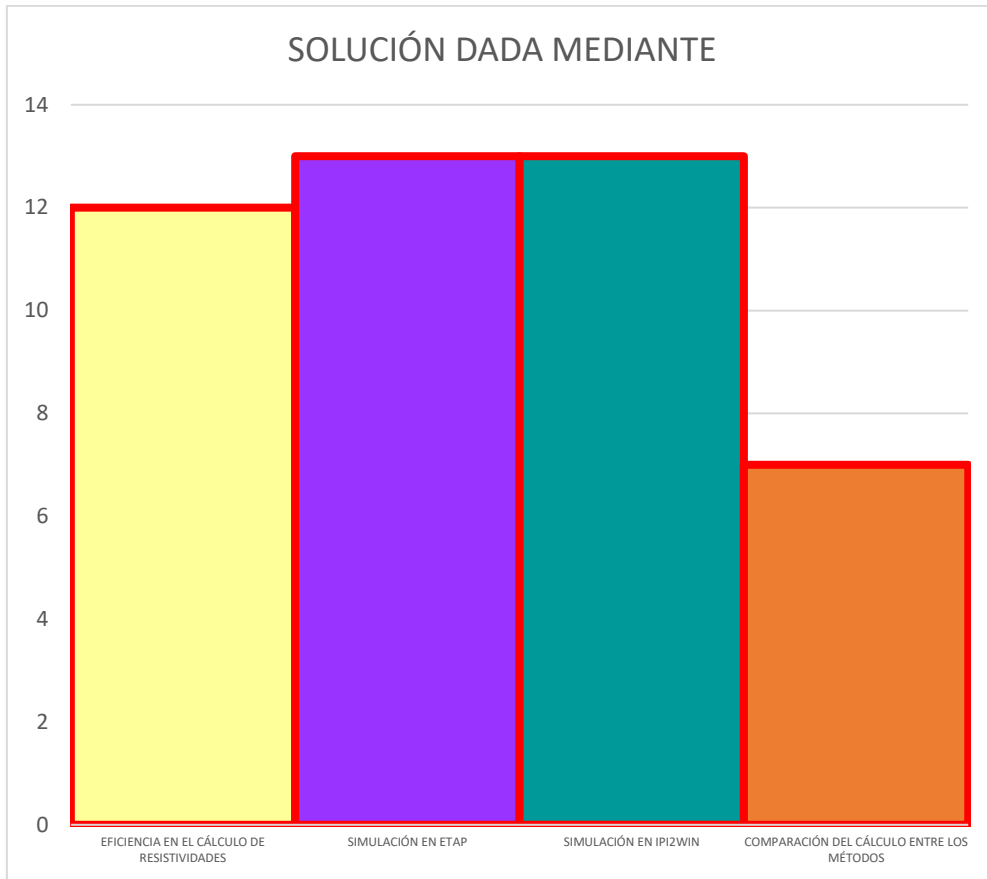


Figura 14. Indicador de solución del estado del arte

9. Anexos

9.1 Datos de tablas de mediciones brutas de los sitios de estudio.

Tabla 5. Parque Recreacional La Moya - Datos brutos dos metros

Parque Recreacional La Moya						Estado del Terreno: Húmedo		Temperatura aproximada: 19 °C		Ejecutor: Santiago Live	
Método Wenner Alfa						Método Wenner Beta					
El espacio entre los electrodos es equidistante						El espacio entre los electrodos es equidistante					
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo		
N - S	09/05/2022	2 metros	20 cm	03:31	7.94 Ω	N - S	09/05/2022	2 metros	20 cm	03:05	500 Ω
E - O	09/05/2022	2 metros	20 cm	03:26	5.6 Ω	E - O	09/05/2022	2 metros	20 cm	02:56	4.8 Ω
NE - SO	09/05/2022	2 metros	20 cm	03:22	7.59 Ω	NE - SO	09/05/2022	2 metros	20 cm	03:21	1200 Ω
NO - SE	09/05/2022	2 metros	20 cm	03:10	6.85 Ω	NO - SE	09/05/2022	2 metros	20 cm	03:28	800 Ω
Método Wenner Gamma						Método Schlumberger					
El espacio entre los electrodos es equidistante						El espacio entre los electrodos de potencial es de 2 metros					
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos (I)	Profundidad del Electrodo		
N - S	09/05/2022	2 metros	20 cm	03:21	4.18 Ω	N - S	09/05/2022	1 metro	20 cm	02:39	22.52 Ω
E - O	09/05/2022	2 metros	20 cm	03:15	7.14 Ω	E - O	09/05/2022	1 metro	20 cm	02:26	5.96 Ω
NE - SO	09/05/2022	2 metros	20 cm	03:17	3.16 Ω	NE - SO	09/05/2022	1 metro	20 cm	02:15	10.5 Ω
NO - SE	09/05/2022	2 metros	20 cm	03:22	5.46 Ω	NO - SE	09/05/2022	1 metro	20 cm	02:22	4.23 Ω

Tabla 6. Parque Recreacional La Moya - Datos brutos cuatro metros

Parque Recreacional La Moya					Estado del Terreno: Húmedo		Temperatura aproximada: 19 °C		Ejecutor: Santiago Live		
Método Wenner Alfa					Método Wenner Beta						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos es equidistante						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo		
N - S	09/05/2022	4 metros	20 cm	03:50	200 Ω	N - S	09/05/2022	4 metros	20 cm	03:25	3200 Ω
E - O	09/05/2022	4 metros	20 cm	03:42	1.5 Ω	E - O	09/05/2022	4 metros	20 cm	03:41	1.28 Ω
NE - SO	09/05/2022	4 metros	20 cm	03:36	3.6 Ω	NE - SO	09/05/2022	4 metros	20 cm	03:39	400 Ω
NO - SE	09/05/2022	4 metros	20 cm	03:44	2.8 Ω	NO - SE	09/05/2022	4 metros	20 cm	03:43	700 Ω
Método Wenner Gamma					Método Schlumberger						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos de potencial es de 2 metros						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos (I)	Profundidad del Electrodo		
N - S	09/05/2022	4 metros	20 cm	03:45	0.7 Ω	N - S	09/05/2022	3 metros	20 cm	03:15	2.03 Ω
E - O	09/05/2022	4 metros	20 cm	03:21	0.65 Ω	E - O	09/05/2022	3 metros	20 cm	03:02	2.29 Ω
NE - SO	09/05/2022	4 metros	20 cm	03:29	0.65 Ω	NE - SO	09/05/2022	3 metros	20 cm	03:20	200 Ω
NO - SE	09/05/2022	4 metros	20 cm	03:36	0.63 Ω	NO - SE	09/05/2022	3 metros	20 cm	03:10	2.5 Ω

Tabla 7. Parque Recreacional La Moya - Datos brutos seis metros

Parque Recreacional La Moya					Estado del Terreno: Húmedo	Temperatura aproximada: 19 °C	Ejecutor: Santiago Live				
Método Wenner Alfa						Método Wenner Beta					
El espacio entre los electrodos es equidistante						El espacio entre los electrodos es equidistante					
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo		
N - S	09/05/2022	6 metros	20 cm	04:09	0.86 Ω	N - S	09/05/2022	6 metros	20 cm	03:52	100 Ω
E - O	09/05/2022	6 metros	20 cm	03:56	1040 Ω	E - O	09/05/2022	6 metros	20 cm	03:55	1200 Ω
NE - SO	09/05/2022	6 metros	20 cm	04:22	0.74 Ω	NE - SO	09/05/2022	6 metros	20 cm	04:12	600 Ω
NO - SE	09/05/2022	6 metros	20 cm	04:10	1.26 Ω	NO - SE	09/05/2022	6 metros	20 cm	04:08	800 Ω
Método Wenner Gamma						Método Schlumberger					
El espacio entre los electrodos es equidistante						El espacio entre los electrodos de potencial es de 2 metros					
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos (I)	Profundidad del Electrodo		
N - S	09/05/2022	6 metros	20 cm	04:06	0.56 Ω	N - S	09/05/2022	5 metros	20 cm	03:58	0.75 Ω
E - O	09/05/2022	6 metros	20 cm	03:55	0.59 Ω	E - O	09/05/2022	5 metros	20 cm	04:02	0.75 Ω
NE - SO	09/05/2022	6 metros	20 cm	03:49	0.8 Ω	NE - SO	09/05/2022	5 metros	20 cm	04:05	0.71 Ω
NO - SE	09/05/2022	6 metros	20 cm	03:56	0.68 Ω	NO - SE	09/05/2022	5 metros	20 cm	04:10	0.83 Ω

Tabla 8. Parque Recreacional La Moya - Datos brutos ocho metros

Parque Recreacional La Moya					Estado del Terreno: Húmedo	Temperatura aproximada: 19 °C	Ejecutor: Santiago Live				
Método Wenner Alfa					Método Wenner Beta						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos es equidistante						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo		
N - S	09/05/2022	8 metros	20 cm	05:36	0.68 Ω	N - S	09/05/2022	8 metros	20 cm	05:22	1560 Ω
E - O	09/05/2022	8 metros	20 cm	05:23	0.69 Ω	E - O	09/05/2022	8 metros	20 cm	05:24	2050 Ω
NE - SO	09/05/2022	8 metros	20 cm	05:37	420 Ω	NE - SO	09/05/2022	8 metros	20 cm	05:30	2160 Ω
NO - SE	09/05/2022	8 metros	20 cm	05:39	0.58 Ω	NO - SE	09/05/2022	8 metros	20 cm	05:27	1360 Ω
Método Wenner Gamma					Método Schlumberger						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos de potencial es de 2 metros						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos (I)	Profundidad del Electrodo		
N - S	09/05/2022	8 metros	20 cm	05:36	0.48 Ω	N - S	09/05/2022	7 metros	20 cm	04:56	1.09 Ω
E - O	09/05/2022	8 metros	20 cm	05:28	0.46 Ω	E - O	09/05/2022	7 metros	20 cm	05:10	0.56 Ω
NE - SO	09/05/2022	8 metros	20 cm	05:39	0.46 Ω	NE - SO	09/05/2022	7 metros	20 cm	05:14	0.62 Ω
NO - SE	09/05/2022	8 metros	20 cm	05:38	0.58 Ω	NO - SE	09/05/2022	7 metros	20 cm	05:45	0.6 Ω

Tabla 9. Conjunto San Simón 1 de Conocoto - Datos brutos dos metros

Conjunto San Simón 1 de Conocoto					Estado del Terreno: Húmedo	Temperatura aproximada: 14 °C	Ejecutor: Santiago Live				
Método Wenner Alfa					Método Wenner Beta						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos es equidistante						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo		
N - S	22/10/2022	2 metros	20 cm	02:18	2.89 Ω	N - S	22/10/2022	2 metros	20 cm	02:18	500 Ω
E - O	23/10/2022	2 metros	20 cm	02:28	2.26 Ω	E - O	22/10/2022	2 metros	20 cm	02:28	42.3 Ω
NE - SO	24/10/2022	2 metros	20 cm	02:19	2.50 Ω	NE - SO	22/10/2022	2 metros	20 cm	02:19	600 Ω
NO - SE	25/10/2022	2 metros	20 cm	02:22	2.42 Ω	NO - SE	22/10/2022	2 metros	20 cm	02:22	500 Ω
Método Wenner Gamma					Método Schlumberger						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos de potencial es de 2 metros						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos (I)	Profundidad del Electrodo		
N - S	22/10/2022	2 metros	20 cm	02:18	2.02 Ω	N - S	22/10/2022	1 metro	20 cm	02:18	8.28 Ω
E - O	22/10/2022	2 metros	20 cm	02:28	1.45 Ω	E - O	22/10/2022	1 metro	20 cm	02:10	7.01 Ω
NE - SO	22/10/2022	2 metros	20 cm	02:19	1.63 Ω	NE - SO	22/10/2022	1 metro	20 cm	02:16	7.78 Ω
NO - SE	22/10/2022	2 metros	20 cm	02:22	1.62 Ω	NO - SE	22/10/2022	1 metro	20 cm	02:18	7.40 Ω

Tabla 10. Conjunto San Simón 1 de Conocoto - Datos brutos cuatro metros

Conjunto San Simón 1 de Conocoto					Estado del Terreno: Húmedo	Temperatura aproximada: 14 °C	Ejecutor: Santiago Live				
Método Wenner Alfa					Método Wenner Beta						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos es equidistante						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo		
N - S	22/10/2022	4 metros	20 cm	02:05	1.05 Ω	N - S	22/10/2022	4 metros	20 cm	02:08	500 Ω
E - O	22/10/2022	4 metros	20 cm	02:11	1.10 Ω	E - O	22/10/2022	4 metros	20 cm	02:11	500 Ω
NE - SO	22/10/2022	4 metros	20 cm	02:13	1.16 Ω	NE - SO	22/10/2022	4 metros	20 cm	02:13	600 Ω
NO - SE	22/10/2022	4 metros	20 cm	02:34	1.06 Ω	NO - SE	22/10/2022	4 metros	20 cm	02:34	500 Ω
Método Wenner Gamma					Método Schlumberger						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos de potencial es de 2 metros						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos (I)	Profundidad del Electrodo		
N - S	22/10/2022	4 metros	20 cm	02:10	0.66 Ω	N - S	22/10/2022	3 metros	20 cm	02:20	1.28 Ω
E - O	22/10/2022	4 metros	20 cm	02:11	0.74 Ω	E - O	22/10/2022	3 metros	20 cm	02:25	1.20 Ω
NE - SO	22/10/2022	4 metros	20 cm	02:13	0.76 Ω	NE - SO	22/10/2022	3 metros	20 cm	02:27	1.31 Ω
NO - SE	22/10/2022	4 metros	20 cm	02:34	0.70 Ω	NO - SE	22/10/2022	3 metros	20 cm	02:31	1.20 Ω

Tabla 11. Conjunto San Simón 1 de Conocoto - Datos brutos seis metros

Conjunto San Simón 1 de Conocoto					Estado del Terreno: Húmedo	Temperatura aproximada: 14 °C	Ejecutor: Santiago Live				
Método Wenner Alfa						Método Wenner Beta					
El espacio entre los electrodos es equidistante						El espacio entre los electrodos es equidistante					
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo		
N - S	22/10/2022	6 metros	20 cm	02:30	0.70 Ω	N - S	22/10/2022	6 metros	20 cm	02:38	300 Ω
E - O	22/10/2022	6 metros	20 cm	02:21	0.74 Ω	E - O	22/10/2022	6 metros	20 cm	02:28	500 Ω
NE - SO	22/10/2022	6 metros	20 cm	02:28	0.72 Ω	NE - SO	22/10/2022	6 metros	20 cm	02:28	600 Ω
NO - SE	22/10/2022	6 metros	20 cm	02:42	0.70 Ω	NO - SE	22/10/2022	6 metros	20 cm	02:42	500 Ω
Método Wenner Gamma						Método Schlumberger					
El espacio entre los electrodos es equidistante						El espacio entre los electrodos de potencial es de 2 metros					
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos (I)	Profundidad del Electrodo		
N - S	22/10/2022	6 metros	20 cm	02:31	0.46 Ω	N - S	22/10/2022	5 metros	20 cm	02:25	0.45 Ω
E - O	22/10/2022	6 metros	20 cm	02:21	0.50 Ω	E - O	22/10/2022	5 metros	20 cm	02:33	0.52 Ω
NE - SO	22/10/2022	6 metros	20 cm	02:28	0.47 Ω	NE - SO	22/10/2022	5 metros	20 cm	02:27	0.52 Ω
NO - SE	22/10/2022	6 metros	20 cm	02:41	0.47 Ω	NO - SE	22/10/2022	5 metros	20 cm	03:08	0.50 Ω

Tabla 12. Conjunto San Simón 1 de Conocoto - Datos brutos ocho metros

Conjunto San Simón 1 de Conocoto					Estado del Terreno: Húmedo	Temperatura aproximada: 14 °C	Ejecutor: Santiago Live				
Método Wenner Alfa					Método Wenner Beta						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos es equidistante						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo		
N - S	22/10/2022	8 metros	20 cm	04:28	0.52 Ω	N - S	22/10/2022	8 metros	20 cm	04:18	500 Ω
E - O	22/10/2022	8 metros	20 cm	05:51	0.55 Ω	E - O	22/10/2022	8 metros	20 cm	05:51	500 Ω
NE - SO	22/10/2022	8 metros	20 cm	04:03	0.52 Ω	NE - SO	22/10/2022	8 metros	20 cm	04:08	600 Ω
NO - SE	22/10/2022	8 metros	20 cm	04:25	0.52 Ω	NO - SE	22/10/2022	8 metros	20 cm	4;25	600 Ω
Método Wenner Gamma					Método Schlumberger						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos de potencial es de 2 metros						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos (I)	Profundidad del Electrodo		
N - S	22/10/2022	8 metros	20 cm	03:18	0.35 Ω	N - S	22/10/2022	7 metros	20 cm	02:30	0.26 Ω
E - O	22/10/2022	8 metros	20 cm	05:51	0.37 Ω	E - O	22/10/2022	7 metros	20 cm	02:38	0.27 Ω
NE - SO	22/10/2022	8 metros	20 cm	04:03	0.40 Ω	NE - SO	22/10/2022	7 metros	20 cm	02:40	0.29 Ω
NO - SE	22/10/2022	8 metros	20 cm	04:25	0.35 Ω	NO - SE	22/10/2022	7 metros	20 cm	02:46	0.25 Ω

Tabla 13. Parque 6 de Junio de Conocoto - Datos brutos dos metros

Parque 6 de Junio, Conocoto					Estado del Terreno: Húmedo		Temperatura aproximada: 17°C		Ejecutor: Santiago Live		
Método Wenner Alfa					Método Wenner Beta						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos es equidistante						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo		
N - S	16/10/2022	2 metros	20 cm	03:17	3.18 Ω	N - S	16/10/2022	2 metros	20 cm	03:07	3400 Ω
E - O	16/10/2022	2 metros	20 cm	02:48	3.00 Ω	E - O	16/10/2022	2 metros	20 cm	02:49	2000 Ω
NE - SO	16/10/2022	2 metros	20 cm	03:10	3010 Ω	NE - SO	16/10/2022	2 metros	20 cm	03:30	128 Ω
NO - SE	16/10/2022	2 metros	20 cm	03:13	3.05 Ω	NO - SE	16/10/2022	2 metros	20 cm	03:18	3.15 Ω
Método Wenner Gamma					Método Schlumberger						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos de potencial es de 2 metros						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos (I)	Profundidad del Electrodo		
N - S	16/10/2022	2 metros	20 cm	03:10	2.46 Ω	N - S	16/10/2022	1 metro	20 cm	02:49	10.96 Ω
E - O	16/10/2022	2 metros	20 cm	02:39	2.65 Ω	E - O	16/10/2022	1 metro	20 cm	02:55	5.71 Ω
NE - SO	16/10/2022	2 metros	20 cm	03:34	0.73 Ω	NE - SO	16/10/2022	1 metro	20 cm	02:35	2.21 Ω
NO - SE	16/10/2022	2 metros	20 cm	03:16	2.14 Ω	NO - SE	16/10/2022	1 metro	20 cm	02:19	5.16 Ω

Tabla 14. Parque 6 de Junio de Conocoto - Datos brutos cuatro metros

Parque 6 de Junio, Conocoto					Estado del Terreno: Húmedo		Temperatura aproximada: 17°C		Ejecutor: Santiago Live		
Método Wenner Alfa					Método Wenner Beta						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos es equidistante						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodo	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodo	Profundidad del Electrodo		
N - S	16/10/2022	4 metros	20 cm	02:49	0.89 Ω	N - S	16/10/2022	4 metros	20 cm	02:59	2600 Ω
E - O	16/10/2022	4 metros	20 cm	02:51	0.87 Ω	E - O	16/10/2022	4 metros	20 cm	02:57	1500 Ω
NE - SO	16/10/2022	4 metros	20 cm	03:32	400 Ω	NE - SO	16/10/2022	4 metros	20 cm	03:29	700 Ω
NO - SE	16/10/2022	4 metros	20 cm	03:15	200 Ω	NO - SE	16/10/2022	4 metros	20 cm	03:19	1300 Ω
Método Wenner Gamma					Método Schlumberger						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos de potencial es de 2 metros						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodo	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodo (I)	Profundidad del Electrodo		
N - S	16/10/2022	4 metros	20 cm	02:52	0.5 Ω	N - S	16/10/2022	3 metros	20 cm	03:39	1,01 Ω
E - O	16/10/2022	4 metros	20 cm	02:59	0.47 Ω	E - O	16/10/2022	3 metros	20 cm	02:42	1.41 Ω
NE - SO	16/10/2022	4 metros	20 cm	03:39	0.64 Ω	NE - SO	16/10/2022	3 metros	20 cm	03:53	500 Ω
NO - SE	16/10/2022	4 metros	20 cm	03:13	0.58 Ω	NO - SE	16/10/2022	3 metros	20 cm	03:48	2.03 Ω

Tabla 15. Parque 6 de Junio de Conocoto - Datos brutos seis metros

Parque 6 de Junio, Conocoto					Estado del Terreno: Húmedo	Temperatura aproximada: 17°C	Ejecutor: Santiago Live				
Método Wenner Alfa					Método Wenner Beta						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos es equidistante						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo		
N - S	16/10/2022	6 metros	20 cm	03:03	0.69 Ω	N - S	16/10/2022	6 metros	20 cm	03:04	2700 Ω
E - O	16/10/2022	6 metros	20 cm	03:18	0.66 Ω	E - O	16/10/2022	6 metros	20 cm	03:57	800 Ω
NE - SO	16/10/2022	6 metros	20 cm	03:46	400 Ω	NE - SO	16/10/2022	6 metros	20 cm	04:00	300 Ω
NO - SE	16/10/2022	6 metros	20 cm	03:35	0.72 Ω	NO - SE	16/10/2022	6 metros	20 cm	03:21	400 Ω
Método Wenner Gamma					Método Schlumberger						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos de potencial es de 2 metros						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos (I)	Profundidad del Electrodo		
N - S	16/10/2022	6 metros	20 cm	03:09	0.42 Ω	N - S	16/10/2022	5 metros	20 cm	03:58	0.43 Ω
E - O	16/10/2022	6 metros	20 cm	04:19	0.42 Ω	E - O	16/10/2022	5 metros	20 cm	03:28	0.41 Ω
NE - SO	16/10/2022	6 metros	20 cm	03:49	0.42 Ω	NE - SO	16/10/2022	5 metros	20 cm	03:19	0.45 Ω
NO - SE	16/10/2022	6 metros	20 cm	03:36	0.50 Ω	NO - SE	16/10/2022	5 metros	20 cm	03:29	0.44 Ω

Tabla 16. Parque 6 de Junio de Conocoto - Datos brutos ocho metros

Parque 6 de Junio, Conocoto					Estado del Terreno: Húmedo	Temperatura aproximada: 17°C	Ejecutor: Santiago Live				
Método Wenner Alfa					Método Wenner Beta						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos es equidistante						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo		
N - S	16/10/2022	8 metros	20 cm	05:57	0.54 Ω	N - S	16/10/2022	8 metros	20 cm	05:30	2500 Ω
E - O	16/10/2022	8 metros	20 cm	05:42	0.54 Ω	E - O	16/10/2022	8 metros	20 cm	05:10	800 Ω
NE - SO	16/10/2022	8 metros	20 cm	05:27	0.55 Ω	NE - SO	16/10/2022	8 metros	20 cm	05:43	400 Ω
NO - SE	16/10/2022	8 metros	20 cm	05:36	0.53 Ω	NO - SE	16/10/2022	8 metros	20 cm	05:26	1500 Ω
Método Wenner Gamma					Método Schlumberger						
El espacio entre los electrodos es equidistante					El espacio entre los electrodos de potencial es de 2 metros						
Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente	Eje de Instalación	Fecha	Electrodo		Tiempo de Montaje en [Min]	Resistencia Aparente
		Distancia entre Electrodos	Profundidad del Electrodo					Distancia entre Electrodos (I)	Profundidad del Electrodo		
N - S	16/10/2022	8 metros	20 cm	05:46	0.35 Ω	N - S	16/10/2022	7 metros	20 cm	04:47	0.29 Ω
E - O	16/10/2022	8 metros	20 cm	05:26	0.35 Ω	E - O	16/10/2022	7 metros	20 cm	04:52	0.25 Ω
NE - SO	16/10/2022	8 metros	20 cm	05:48	0.39 Ω	NE - SO	16/10/2022	7 metros	20 cm	04:33	0.25 Ω
NO - SE	16/10/2022	8 metros	20 cm	05:45	0.37 Ω	NO - SE	16/10/2022	7 metros	20 cm	04:49	0.25 Ω

9.2 Evidencia fotográfica de los trabajos ejecutados



Figura 15. Campo de trabajo - Conjunto San Simón 1 de Conocoto.



Figura 16. Configuración armada - Conjunto San Simón 1 de Conocoto.



Figura 17. Ejecución del telurómetro - Conjunto San Simón 1 de Conocoto

9.3 Mediciones brutas en la UPS – Sede Quito, Ecuador.

Tabla 17. Universidad Politécnica Salesiana - Datos brutos para 1 y 2 metros

Variantes alfa, beta y gamma Wenner en instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito, Ecuador								
Fecha	Electrodo		Wenner Alfa	Wenner Beta	Wenner Gamma			
	Distancia entre Electrodo	Profundidad del Electrodo						
20/01/2023	1 metros	20 cm	7.88 Ω	0.3 k Ω	5.37 Ω			
20/01/2023	2 metros	20 cm	4.47 Ω	0.3 k Ω	2.94 Ω			

Ejecutores: Rogelio Orizondo & Santiago Live

9.4 Evidencia fotográfica de mediciones en la UPS – Sede Quito, Ecuador

9.4.1 Configuración Wenner alfa con separación de 2 metros

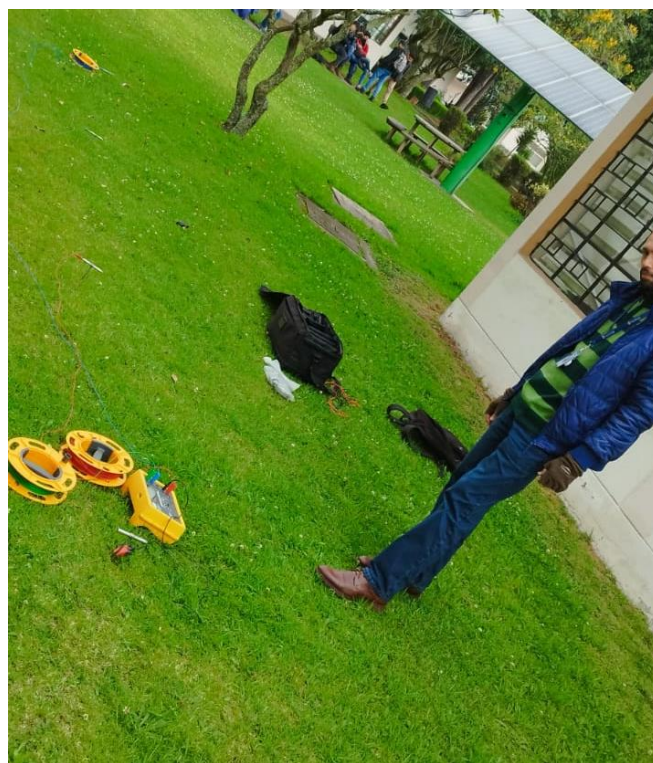


Figura 18. Verificación de Wenner alfa con una separación de 2 metros



Figura 19. Verificación del resultado de Wenner alfa con una separación de 2 metros

9.4.2 Configuración Wenner beta con separación de 2 metros



Figura 20. Verificación de Wenner beta con una separación de 2 metros



Figura 21. Verificación del resultado de Wenner beta con una separación de 2 metros

9.4.3 Configuración Wenner gamma con separación de 2 metros



Figura 22. Verificación de Wenner gamma con una separación de 2 metros



Figura 23. Verificación del resultado de Wenner gamma con una separación de 2 metros

9.4.4 Configuración Wenner alfa con separación de 1 metro



Figura 24. Verificación de Wenner alfa con una separación de 1 metro

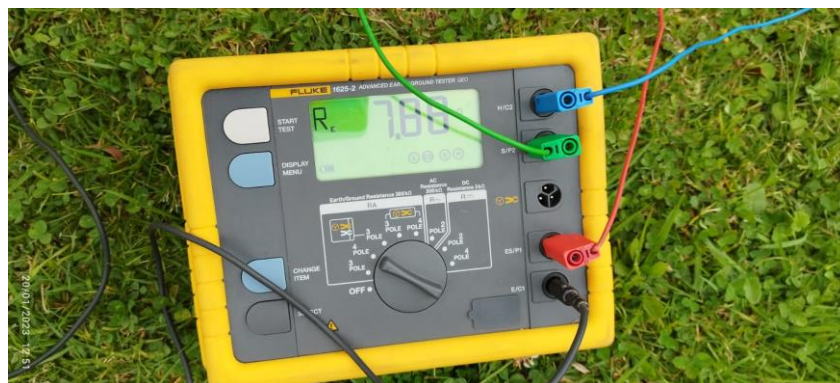


Figura 25. Verificación del resultado de Wenner alfa con una separación de 1 metro

9.4.5 Configuración Wenner beta con separación de 1 metro

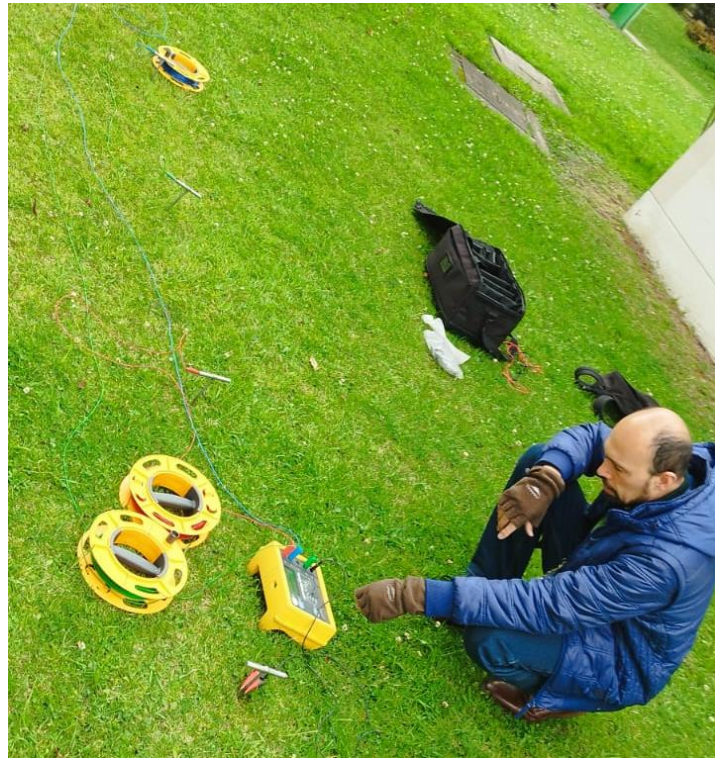


Figura 26. Verificación de Wenner beta con una separación de 1 metro



Figura 27. Verificación del resultado de Wenner beta con una separación de 1 metro

9.4.6 Configuración Wenner gamma con separación de 1 metro



Figura 28. Verificación de Wenner gamma con una separación de 1 metro



Figura 29. Verificación del resultado de Wenner gamma con una separación de 1 metro