

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



TEMA:

**MODELAMIENTO DE LA RESISTIVIDAD TÍPICA PARA
LOS DIFERENTES TIPOS DE SUELOS EN LA
PARROQUIA EL SAGRARIO DEL CANTÓN IBARRA.**

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

AUTOR:

César Alfonso Vásquez Bucheli

DIRECTOR:

Ramiro Mauricio Vásquez Villarruel

Ibarra – Ecuador

2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1002763017		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Vásquez Bucheli César Alfonso		
DIRECCIÓN:	Antonio Cordero 2-27 y Rafael Larrea		
EMAIL:	cavasquezb@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	2 952-824	TELÉFONO MÓVIL:	0984941700

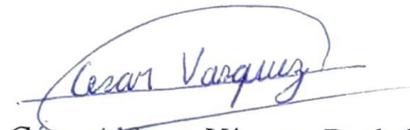
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“MODELAMIENTO DE LA RESISTIVIDAD TÍPICA PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE SUELOS EN LA PARROQUIA EL SAGRARIO DEL CANTÓN IBARRA.”
AUTOR (ES):	Vásquez Bucheli César Alfonso
FECHA: DD/MM/AAAA	06 de junio del 2024
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Ramiro Vásquez

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 06 días del mes de junio de 2024

AUTOR:

A handwritten signature in blue ink that reads "César Vásquez". The signature is written in a cursive style and is underlined with a single horizontal line.

César Alfonso Vásquez Bucheli
C.I, 1002763017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

Yo, Ing. Ramiro Mauricio Vásquez Villarruel MSc. en calidad de director del señor estudiante César Alfonso Vásquez Bucheli, certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del Trabajo de Integración Curricular en el tema:
“MODELAMIENTO DE LA RESISTIVIDAD TÍPICA PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE SUELOS EN LA PARROQUIA EL SAGRARIO DEL CANTÓN IBARRA”.

Para la obtención del título de Ingeniería Eléctrica, aprobando la defensa, impresiones y empastado.

Ing. Ramiro Mauricio Vásquez Villarruel MSc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

DEDICATORIAS

El presente trabajo es dirigido en primer lugar a Dios porque ha sido quien me ha guiado y sostenido en todo el proceso universitario y confío en que lo seguirá haciendo. A mi padre que me han apoyado y guiado cada día, convirtiéndose en un pilar fundamental durante el desarrollo de mi formación como profesional, aún en los momentos más difíciles, no solo en el ámbito educativo sino también en mi vida personal. A mi tía por ser un apoyo incondicional en todo momento y por ser un ejemplo de esfuerzo y perseverancia en especial en esta última etapa, también a mis primos por creer en mí y en mis capacidades como futuro ingeniero eléctrico, animándome siempre a continuar y mejorar. A mi novia Raquel por ser una compañera y gran amiga, me motivo a seguir adelante y no desanimarme en el transcurso del trabajo de grado que me ha mostrado su cariño y apoyo en todo tiempo. Y, por último, a mis amigos que de una u otra manera han estado presentes y siempre han estado alentándome a seguir y llegar hasta donde ahora Dios me ha permitido estar.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud de manera primordial a Dios, que gracias a su soberanía y fidelidad me ha permitido culminar con esta etapa llena de aprendizaje y sobre todo experiencias gratas para el resto de mi vida. También, mi agradecimiento a los docentes y técnicos de laboratorio de la Carrera de Ingeniería en Electricidad en especial a mi director y asesor de tesis quienes con sus valiosos conocimientos hicieron que logre crecer cada día como profesional y persona, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación y apoyo incondicional. A mis compañeros y amigos que compartieron esta etapa de mi vida. Finalmente quiero expresar el más sincero agradecimiento a la Ing. Ramiro Mauricio Vásquez Villarruel por su principal colaboradora y guía durante todo este trabajo, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo de grado.

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problema de investigación.....	1
1.1.1 <i>Problemática a investigar</i>	1
1.1.2 <i>Formulación de la pregunta de investigación</i>	2
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
1.3 Alcance y delimitación.....	3
1.4 Justificación	3
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.2 Estructura del suelo	9
2.3 Tipos de suelos.....	9
2.3.1 <i>Suelos inorgánicos</i>	10
2.3.2 <i>Suelos orgánicos</i>	12
2.4 Resistividad del suelo.....	14
2.5 Factores que influyen en la resistividad del suelo	14
2.5.2 <i>La humedad</i>	16
2.5.3 <i>La temperatura</i>	17
2.5.4 <i>Las sales y minerales</i>	18
2.5.5 <i>pH del suelo</i>	18
2.6 Métodos de medición de la resistividad del suelo	19
2.6.3 <i>Método de los dos puntos (polo-polo)</i>	19
2.6.1 <i>Método Wenner Alpha</i>	20
2.6.2 <i>Método schumberger</i>	21
2.7 Sistema de Puesta a tierra (SPT)	21
2.7.1 <i>Objetivos de una puesta a tierra</i>	22
CAPÍTULO III.....	24
MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1 Descripción del lugar de estudio.....	24
3.2 Descripción de la metodología.....	25

3.4	Diseño de la investigación	26
3.5	Procedimiento general	27
3.5.1	<i>Recopilación de información</i>	27
3.5.2	<i>Identificación de área de estudio</i>	28
3.5.3	<i>Caracterización preliminar del suelo</i>	28
3.5.4	<i>Selección de método de medición</i>	29
3.5.6	<i>Ubicación de electrodos</i>	31
3.5.7	<i>Procesamiento de datos</i>	32
3.5.9	<i>Modelamiento de la resistividad del suelo</i>	33
3.6	Materiales	34
3.6.1	<i>Equipo de medición</i>	34
3.6.2	<i>Software</i>	36
3.6.3	<i>Procesos matemáticos</i>	38
CAPITULO IV		40
RESULTADOS Y ANÁLISIS		40
4.1	Datos de la resistividad de suelo en los diferentes puntos de la Parroquia el Sagrario	40
4.2.1	<i>Datos del suelo arcilloso</i>	40
4.2.2	<i>Datos del suelo humus</i>	40
4.2.3	<i>Datos del suelo pedregoso</i>	41
4.3	Modelación de la resistividad	42
4.3.1	Modelación IPI2Win	42
4.3.1	Modelación ETAP	44
Conclusiones		49
Recomendaciones		50
Referencias bibliográficas		51
Anexos		55
Cronograma de actividades		80
Recursos y presupuesto		82

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Suelo Arcilloso[23].....	11
Fig. 2 Suelo pedregoso [22].....	12
Fig. 3. Suelo Humus [21]	13
Fig. 4 Factores que afectan la resistividad [5].....	16
Fig. 5.Variación de la resistividad del suelo con respecto a la humedad a diferentes frecuencias [22].....	17
Fig. 6. Variación de la resistividad en función de la temperatura [27].	18
Fig. 7 Salinidad del suelo [22]	18
Fig. 8 Factores de resistividad pH del suelo [17].	19
Fig. 9. Método polo-polo [10].....	20
Fig. 10 Método de wenner Alpha [1]	21
Fig. 11 Método de Schumberger [21]	21
Fig. 12 Sistema de puesta a tierra (SPT) [10].....	22
Fig. 13 Punto de muestreo [28]	25
Fig. 14. Ubicación de picas.	31
Fig. 15. técnica de la brújula	32
Fig. 16. Depreciación de puntos.....	33
Fig. 17 teluometro.....	34
Fig. 18. Medidor de pH [29]	36
Fig. 19 Pantalla de IPI2win [19]	37
Fig. 20. Pantalla de ETAP.....	38
Fig. 21. Modelamiento de los diferentes suelos de estudio.....	44
Fig. 22. Longitud de electrodo.	44
Fig. 23. Diámetro y profundidad de los electrodos.	45
Fig. 24. Distancia entre electrodos.	45

INDICE DE TABLAS

TABLA I.....	14
TABLA II.....	24
TABLA III.....	29
TABLA IV.....	40
TABLA V.....	41
TABLA VI.....	42
TABLA VII.....	43
TABLA VIII.....	43
TABLA IX.....	43
TABLA X.....	46
TABLA XI.....	47
TABLA XII.....	48

RESUMEN

El presente proyecto presenta un estudio realizado en la Parroquia El Sagrario del Cantón Ibarra. El modelamiento de la resistividad del suelo es considerable para comprender las propiedades jugando un papel crucial en diversas aplicaciones, como la construcción de mallas de puesta tierra, la valoración de la calidad. Se realizó un análisis detallado de la resistividad típica de los suelos en la parroquia El Sagrario, además, se consideraron tres tipos como humus, arcilloso y pedregoso presentes en la región, ya que cada uno tiene características eléctricas distintas. Los resultados evidenciaron variaciones significativas en la resistividad de la capa superficial de los diferentes tipos de suelos analizados. Esta variabilidad ofrece valiosa información acerca de la composición y la estructura de dichos suelos. También se observó diferencias entre los datos obtenidos de los distintos tipos de suelos, lo cual contribuyó al modelamiento del terreno. Por otra parte, el modelado realizado a través del software IPI2win destacó la importancia de las diferencias estructurales presentes en los suelos evaluados para comprender la homogeneidad del subsuelo. Los hallazgos poseen relevancia para los ingenieros, ya que proporcionan información clave para desarrollar estrategias de construcción y planificación efectivas, teniendo en cuenta las particularidades de los suelos presentes en la región.

Palabras clave:

Resistividad, suelo, puesta tierra, modelamiento, humus, arcilloso, pedregoso

ABSTRACT

The present proposal reports a study carried out in the Parroquia El Sagrario of Canton Ibarra. The modeling of soil resistivity is considerable to understand the properties playing a crucial role in several applications, such as the construction of grounding grids, and quality assessment. A detailed analysis of the typical resistivity of the soils of the Parroquia El Sagrario was carried out. Moreover, three types of soils were considered such as humic, clayey and stony soils present in the region, since each one has different electrical characteristics. The results evidenced significant variations in the resistivity of the surface layer of the different types of soils examined. This variability provides valuable information about the composition and structure of these soils. Furthermore, differences between the data obtained from the different soil types were noted, which contributed to the terrain modeling. On the other hand, the modeling performed through the IPI2win software highlighted the importance of the structural differences present in the evaluated soils to comprehend the homogeneity of the subsoil. The results are relevant for engineers, as they provide key information to enable effective construction and planning, considering the particularities of the soils existing in the region.

Keywords:

Resistivity, floor, grounding, modeling, humus, clay, stony

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Modelamiento de la resistividad típica para los diferentes tipos de suelos en la parroquia el sagrario del cantón Ibarra.

1.1 Problema de investigación.

1.1.1 Problemática a investigar

Según establece la norma ecuatoriana de la construcción (NEC) instalaciones eléctricas[1], los sistemas y conductores de circuitos eléctricos se conectan a tierra con el propósito de evitar que las personas que entren en contacto con dichos circuitos y equipos eléctricos estén expuestas a diferencias de potencial que excedan los niveles de tolerancia del cuerpo humano en caso de producirse una falla [2]. Sin embargo, en la bibliografía nacional no se han encontrado datos relacionados a los valores típicos de resistividad del suelo [3].

Como se señaló anteriormente no se dispone de información de valores de resistividad típicos de los diferentes tipos de suelos, lo cual lleva a seleccionar valores de resistividad de tablas referenciales de normas internacionales, lo que podría no representar la realidad del sector de estudio, esto ocasiona que los valores de resistencia obtenidos de un diseño de puesta a tierra varíe mucho con el valor que se obtiene una vez ejecutada la misma, esto ocasiona una pérdida de tiempo y dinero para el ejecutor de la obra. El uso de tablas que contienen valores típicos es una práctica muy común en los constructores de proyectos pequeños, ya que los costos de un equipo especializado para tomar mediciones de resistividad del suelo y posterior la modelación de suelos es muy costosa, por lo cual como se mencionó el disponer de las tablas con información de

valores de resistividad del suelo suele ser muy útil cuando no se dispone de los equipos ya mencionados [1].

El malfuncionamiento o diseño inadecuado de la puesta a tierra aumenta el riesgo de descargas eléctricas, lo que ocasiona que se incremente la probabilidad de accidentes eléctricos en domicilios o comercios, es por esto de la importancia del adecuado diseño, medición y evaluación, así como el mantenimiento de este, con la finalidad de disponer de un sistema fiable y duradero.

1.1.2 Formulación de la pregunta de investigación

¿Cuál es la resistividad típica de los diferentes tipos de suelos de la Parroquia El Sagrario del Cantón Ibarra y cómo se pueden modelar estas características del suelo?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Modelar la resistividad típica de los diferentes tipos de suelos en la Parroquia El Sagrario del Cantón Ibarra para contar con datos referenciales del área de estudio en los puntos asignados mediante la utilización de software.

1.2.2 Objetivos específicos

- Describir los modelamientos de resistividad de los suelos enfocados en la influencia del terreno, la humedad, temperatura y salinidad.
- Realizar el diagnóstico actual de la resistividad de los diferentes tipos de suelos presentes en la Parroquia El Sagrario.
- Modelar la resistividad típica de los suelos presentes en la Parroquia El Sagrario con el software para la obtención de representaciones gráficas y análisis cuantitativos.

1.3 Alcance y delimitación

El enfoque de este proyecto de investigación es la modelación de la resistividad típica de los diferentes suelos en la parroquia el sagrario, donde se tomarán los datos en las siguientes áreas que serán sometidos en el software IPI2win. Se describirá los diferentes métodos para el modelamiento del estudio de resistividad de los suelos. Enfocándose en las características que influyen en el terreno como grado de humedad, temperatura y salinidad.

Posteriormente, se realizará la recolección de datos de resistividad de los diferentes tipos de suelos que se presentan en la parroquia El Sagrario. Que serán evaluados en los diferentes puntos de muestreo, los cuáles serán pedregosos, arcilloso y humus. Se llevarán a cabo múltiples mediciones del suelo a 1, 2, 3, 4, 5 y 6 metros de separación entre picas utilizando equipos especializados en los siguientes lugares; loma de Guayabillas, Universidad Técnica del Norte campus El Olivo, Río Tahuando sector Piedra Chapetona, Parque de La Familia Yacucalle y Mirador San Miguel de Arcángel.

Posteriormente, se recopilarán y analizarán los datos obtenidos. Mediante el uso del software IPI2win se realizará la modelación de la resistividad típica en las diferentes capas correspondientes a cada suelo estudiado de la parroquia El Sagrario.

1.4 Justificación

En numerosos países, se encuentran regulaciones que establecen los criterios necesarios para la conexión a tierra de las instalaciones eléctricas. Estas regulaciones por lo general establecen límites máximos permitidos para la resistividad del suelo, los cuales varían dependiendo de la categoría de la instalación eléctrica.

Mediante la utilización de un software especializado, este modelado permitirá obtener una representación precisa y detallada de la resistividad típica de los distintos tipos de suelos de acuerdo con el grado de humedad, temperatura y salinidad presentes en la parroquia El Sagrario del cantón Ibarra.

Los resultados de esta investigación accederán a un mejor estudio de puesta a tierra que serán adecuados y seguros para las personas y las instalaciones eléctricas. Además, reducir el riesgo de descargas eléctricas, lo que a su vez implicará mejoras en la seguridad y la eficiencia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El presente capítulo tiene como objetivo presentar los conceptos que abordará la información bibliográfica de la resistividad de los suelos, lo cual proporcionó información sobre sus características de los factores del terreno, humedad, temperatura y salinidad. También se describió los diferentes tipos de modelamientos a utilizar para comprender la influencia de los factores en la resistividad.

2.1 Antecedentes

Esta guía se enfoca principalmente en las subestaciones al aire libre de corriente alterna (CA), ya sean convencionales o aisladas con gas [4]. Se abarcan las subestaciones de plantas de distribución, transmisión y generación. Con precaución adecuada, los métodos descritos en este documento también se pueden aplicar a las áreas internas de estas subestaciones o a aquellas que se encuentren completamente en el interior. No se pretende abordar los problemas específicos de puesta a tierra en subestaciones de corriente continua (CC). Un análisis cuantitativo de los efectos de sobrevoltaje causadas por rayos también está fuera del alcance de esta guía según [5].

La determinación de la humedad del suelo es la primera etapa de los estudios en el proyecto, y es fundamental para establecer metodologías adicionales, como la determinación de la densidad seca del suelo, la evaluación del grado de compactación y la obtención de las constantes de capacidad de carga. Estos análisis posteriores permiten comprender y evaluar adecuadamente las propiedades del suelo en relación con los sectores residenciales y comerciales en la parroquia El Sagrario [6].

En general, los suelos están compuestos por varias capas horizontales superpuestas, cada una con una resistividad diferente. También es común encontrar

cambios laterales graduales en la resistividad, a menos que existan fallas geológicas que generen cambios más abruptos [7]. En consecuencia, es necesario llevar a cabo mediciones de resistividad con el fin de identificar posibles cambios notables en la resistividad a medida que se profundiza [1]. Esto significa que, aunque las técnicas de medición sean similares, la interpretación de los datos debe considerar las características particulares del suelo en estudio, como la presencia de capas con diferentes resistividades y posibles cambios laterales. Esto permitirá obtener una comprensión más precisa de las variaciones de resistividad en el subsuelo y sus implicaciones para el propósito específico de la medición [8].

En el cálculo y diseño de Sistemas de Puesta a Tierra, es crucial realizar una investigación de la resistividad del terreno en la ubicación específica donde se realizará la conexión[9]. Esto se debe a que la resistividad del terreno es el factor más importante en el proceso de conducción de corriente a través del suelo. No se aconseja evaluar la resistividad basándose únicamente en la clasificación del terreno, ya que estas clasificaciones proporcionan solo una aproximación de la resistividad real, Por lo tanto, se considera fundamental realizar mediciones de campo de la resistividad para obtener datos precisos y confiables como menciona [10].

Los sistemas y conductores de circuitos eléctricos se conectan a tierra con el propósito de prevenir que las personas, al tener contacto con los circuitos y equipos eléctricos estén expuestas a diferencias de potencial que excedan los límites seguros para el cuerpo humano en caso de una falla[2].

Una forma efectiva de medir la resistividad aparente de terrenos extensos es utilizando el método de cuatro puntos (Wenner). Este método consiste en introducir cuatro picas auxiliares en el suelo, todas a una misma profundidad b y espaciadas a

intervalos “a” en línea recta [10]. Se aplica una corriente de prueba I entre las dos picas externas, y se mide el voltaje V entre las dos picas internas utilizando un potenciómetro o un voltímetro de alta impedancia. La relación entre la corriente y el potencial proporciona el valor de la resistencia R en Ohmios [11]. Con este método de cuatro puntos, se obtienen datos de resistividad aparente del terreno para capas más profundas sin la necesidad de introducir las picas de prueba hasta esas capas. Además, este método no requiere equipos pesados para llevar a cabo la prueba de cuatro puntos como menciona [4].

El modelo de suelo se construye basándose en la interpretación de los datos obtenidos de resistividad aparente obtenidas mediante el método de Wenner Alpha. El modelo de suelo de dos capas es un acercamiento comúnmente utilizado para representar la condición real del suelo, donde se consideran dos capas horizontales y homogéneas. La primera capa, más superficial, tiene una resistividad p y una profundidad h . La segunda capa, más profunda, tiene una resistividad p_2 y se considera de profundidad infinita [12].

Este modelo presenta la ventaja de que existen métodos precisos y sencillos para determinar la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de toque y de paso en diferentes configuraciones de sistemas de puesta a tierra. Al utilizar este modelo, se pueden obtener estimaciones confiables de estos parámetros relevantes para la seguridad eléctrica. Es importante tener en cuenta que este modelo de dos capas es una simplificación de la compleja estructura del suelo, pero proporciona resultados prácticos y útiles para el diseño y evaluación de sistemas de puesta a tierra en concordancia con [13].

La resistividad es un parámetro de gran importancia en diversas aplicaciones de ingeniería, como el diseño y análisis de Sistemas de Puesta a Tierra (SPT), estudios de transitorios electromagnéticos, investigaciones de corrosión y diseño de protección catódica, estudios geológicos y arqueológicos, y evaluación de la contaminación del

suelo[14]. Además, la resistividad del suelo se utiliza para la caracterización de materiales y para estimar otros parámetros del suelo, como la porosidad, densidad, contenido de agua, salinidad y resistencia. Estos datos son fundamentales para comprender las propiedades del suelo y su comportamiento en diferentes contextos, lo que a su vez permite tomar decisiones informadas en la planificación y diseño de proyectos de ingeniería como señala[10].

El telurómetro es un dispositivo que se utiliza para realizar la medición de la resistencia de puesta a tierra (SPAT) lo que permite verificar su correcto funcionamiento y es considerado el principal indicador de su estado. Este equipo profesional realiza mediciones en sistemas de puesta a tierra, utilizando el método Wenner para determinar parámetros de voltaje y resistencia. El método Wenner Alpha consiste en medir la resistividad del suelo, para lo cual se insertan cuatro electrodos en el suelo[13]. Estos electrodos se colocan en línea recta, a la misma profundidad de penetración. Las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre los electrodos y de la resistividad del terreno en cuestión según menciona [15].

Los suelos se pueden clasificar en varios tipos según sus características, como los suelos calizos, arenosos, limosos, arcillosos, pedregosos salinos, humíferos y de turba según [16]. Se contrasta con lo que menciona acerca de la medición de la resistividad del suelo en grandes áreas se realiza utilizando el método universal de cuatro puntos o Wenner Alpha desarrollado por el Dr. Frank Wenner en 1915 [17]. Este método se considera más conveniente en la práctica cuando se trabaja con profundidades de hasta 12 metros[18].

El programa IPI2WIN se ha diseñado específicamente para la interpretación automática o semiautomática de estos datos de sondeo eléctrico. Proporciona herramientas y funciones que permiten una interpretación iterativa, flexible y cómoda

para el usuario. Estas capacidades son de vital importancia en el proyecto, ya que permiten procesar y analizar eficientemente los datos geofísicos obtenidos en campo. En el contexto del proyecto en la parroquia El Sagrario del cantón Ibarra, el programa IPI2WIN se utiliza para interpretar los datos de resistividad obtenidos en los diferentes tipos de suelos presentes en la zona [19]. Esta interpretación permite establecer los valores típicos de resistividad para cada tipo de suelo, lo cual es esencial para comprender las características del subsuelo y su influencia en los sectores residenciales y comerciales [20].

2.2 Estructura del suelo

La investigación de la estructura del suelo fue necesario para obtener la composición general como el grado de homogeneidad, además, las muestras y otras investigaciones geológicas brindaron información acerca de la existencia de distintas capas y la composición del material del suelo, lo que ayuda, a obtener algunas ideas sobre el rango de resistividad en el sitio de estudio [5].

2.3 Tipos de suelos

La resistividad eléctrica del suelo es una propiedad que varía según la clase de suelo, además de, Conocer los tipos presentes en una zona de estudio permite interpretar con mayor precisión las mediciones de resistividad eléctrica realizadas en el terreno [5].

Al comprender los tipos de suelos presentes en una zona, es posible identificar anomalías en los datos de resistividad eléctrica que podrían indicar la presencia de características geológicas o cambios en la composición, como capas de arcilla, agua subterránea, rocas [3].

2.3.1 *Suelos inorgánicos*

Los suelos inorgánicos son aquellos que están compuestos principalmente por materiales inorgánicos, es decir, materiales que no provienen de organismos vivos, se forman a partir de la descomposición de rocas y minerales a lo largo de largos períodos de tiempo, su composición puede variar según el tipo de roca madre y los procesos geológicos que hayan actuado sobre ella [21].

Los suelos arcillosos, por ejemplo, retienen más agua que los suelos pedregosos, lo cual afecta la resistividad eléctrica, debido a que es un conductor eléctrico. Por lo tanto, los suelos inorgánicos pueden tener una resistividad eléctrica más baja cuando están húmedos y una resistividad más alta cuando están secos. Estos se clasifican en:

- Arcilloso
- Pedregoso

2.3.1.1 *Arcilloso*

Este tipo de suelos contienen una alta capacidad de retención de agua debido a la naturaleza fina y las propiedades químicas propias de este tipo de suelo. Debido a la alta humedad puede afectar la resistividad eléctrica del suelo, ya que el agua es un conductor eléctrico y puede disminuir la resistividad [3].

La estructura fina y compacta de los suelos arcillosos reduce su permeabilidad al agua y al aire. Esto puede influir en la distribución de la humedad en el suelo y, por lo tanto, en su resistividad eléctrica. Las partículas de arcilla tienen una alta capacidad de adsorción de nutrientes y contaminantes. Esto puede afectar la movilidad de los iones en el suelo y, por lo tanto, influir en su resistividad eléctrica[22].



Fig. 1 Suelo Arcilloso[23]

Como se muestra en la Fig. 1 un suelo arcilloso suele tener una textura fina y suave al tacto, similar a la plastilina o la arcilla utilizada en alfarería. el suelo arcilloso presenta características eléctricas específicas que afectan su resistividad, como su alta capacidad de retención de agua, baja permeabilidad, capacidad de adsorción de nutrientes y contaminantes.

2.3.1.2 Pedregoso

A este tipo de suelo se le suele conocer como suelo rocoso, por las incrustaciones de roca. Una de las propiedades de estos suelos es su semi-impermeabilida, impidiendo en buena medida la entrada del agua, además, el suelo pedregoso puede tener una resistividad eléctrica variable dependiendo de varios factores, incluyendo la cantidad y distribución de las rocas, la presencia de agua, la composición mineralógica de las rocas, entre otros [4].

En general, cuando el suelo pedregoso está seco, tiene una resistividad eléctrica más alta debido a la baja conductividad eléctrica del aire y de los materiales secos. Sin embargo, si el suelo pedregoso está húmedo o saturado de agua, su resistividad eléctrica puede disminuir significativamente debido a la alta conductividad eléctrica del agua.

Por lo tanto, la resistividad eléctrica del suelo pedregoso puede ser alta en condiciones secas y baja en condiciones húmedas. Es importante tener en cuenta estas variaciones al interpretar mediciones de resistividad eléctrica en suelos pedregosos, ya que pueden influir en la precisión de los resultados y en la interpretación de las características del suelo [14].

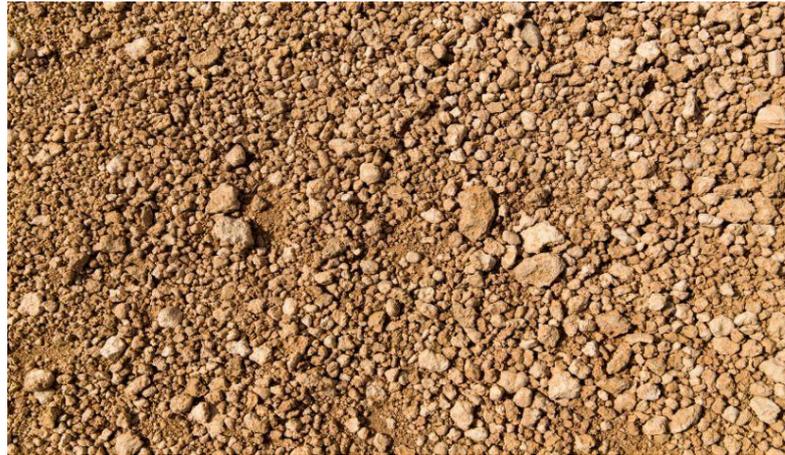


Fig. 2 Suelo pedregoso [22]

El suelo pedregoso está caracterizado por la presencia significativa de rocas, guijarros u otros materiales pétreos dispersos en su matriz como se muestra en la Fig. 2. Estos fragmentos pétreos pueden variar en tamaño, desde pequeñas piedras hasta grandes rocas, y pueden estar dispersos de manera irregular o concentrados en ciertas áreas [14].

2.3.2 Suelos orgánicos

Los suelos orgánicos son aquellos que contienen una alta proporción de materia orgánica en descomposición, como hojas, ramas, restos vegetales, materia fecal de animales y otros materiales orgánicos. Estos suelos se forman a partir de la acumulación y descomposición gradual de materia orgánica a lo largo del tiempo [21].

Los suelos orgánicos tienden a tener una resistividad eléctrica más baja en comparación con los suelos inorgánicos debido a la alta cantidad de materia orgánica presente. La materia orgánica, como la materia vegetal en descomposición, contiene agua

y otros compuestos conductores, de esta manera aumenta la capacidad del suelo para conducir la electricidad, por lo tanto, los suelos orgánicos generalmente muestran una menor resistividad eléctrica en comparación con los suelos inorgánicos, especialmente cuando están húmedos [7]. Los suelos inorgánicos se clasifican en:

- Humus

2.6.4.1 *Humus*

El humus es una capa superficial del suelo compuesta principalmente por materia orgánica en descomposición. Debido a su alta cantidad de materia orgánica, el humus puede tener características de resistividad eléctrica distintas a las de otros tipos de suelo.

El humus tiende a retener una cantidad significativa de agua debido a su alta capacidad de absorción. El agua es un conductor eléctrico, por lo que la presencia de humedad en el humus puede aumentar su conductividad eléctrica y reducir su resistividad, además, como se aprecia en Fig. 3 la materia orgánica presente en el humus puede contener compuestos conductores de electricidad, como sales disueltas y otros electrólitos. Estos compuestos pueden influir en la conductividad eléctrica del humus y, por lo tanto, en su resistividad. [2].



Fig. 3. Suelo Humus [21]

La porosidad y la estructura del humus pueden afectar su resistividad eléctrica al influir en la distribución de la humedad y los iones en el suelo. Una estructura porosa puede permitir una mejor circulación de agua y una distribución más uniforme de los iones, lo que puede influir en la resistividad eléctrica del humus [18].

2.4 Resistividad del suelo

La resistividad es una característica que poseen los distintos tipos de suelos, que permiten la circulación de la corriente con facilidad o no en el caso debido a su contenido orgánico y mineral, por ello la resistividad de la tierra puede variar en la toma de medida según las estaciones y las condiciones [24]. Puesto que la temperatura y la humedad son constantes al alejarse de la superficie de la tierra, Cuanto más profundo se encuentre el sistema de puesta a tierra, menor será su sensibilidad a los cambios ambientales [22] como se muestra en la TABLA I.

TABLA I
RANGO DE LOS VALORES DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO EN LA NATURALEZA.

Naturaleza del terreno	Rango de resistividad (Ωm)
Arcilla	50-500
Humus	10-150
Pedregoso	300-3000

NOTA: la tabla muestra los valores de rango de la resistividad [5]

2.5 Factores que influyen en la resistividad del suelo

En la resistividad del suelo se toma en cuenta diferentes características las cuales influyen en la toma de datos en el lugar de estudio. Algunas de estas características es la humedad, temperatura y salinidad.

Los suelos contienen diferentes cantidades de electrolitos estos conducen la electricidad de manera eficiente, por esto, el aumento de la humedad del suelo reduce la resistencia al más mínimo elemento. La temperatura no es una variable que afecta considerablemente a la resistividad del suelo, pero cuando los niveles son inferiores de 0° C se considera un cambio notable, produciendo el congelamiento del terreno, además de las sales y minerales puede lograr un factor que afecta la resistividad del suelo, cuanto mayor sea la cantidad de sal o minerales que se contengan la resistividad será más baja[25].

La categoría del suelo, su granulometría, estratificación y compactación son características inherentes de la formación geológica del terreno. Aunque estas propiedades pueden variar a largo plazo, se consideran constantes al diseñar un sistema de puesta a tierra (S.P.T.) por el contrario, el porcentaje de humedad, temperatura y concentración de sales y minerales son factores variables que se debe considerar [20]. Como se muestra en la

Fig. 4.

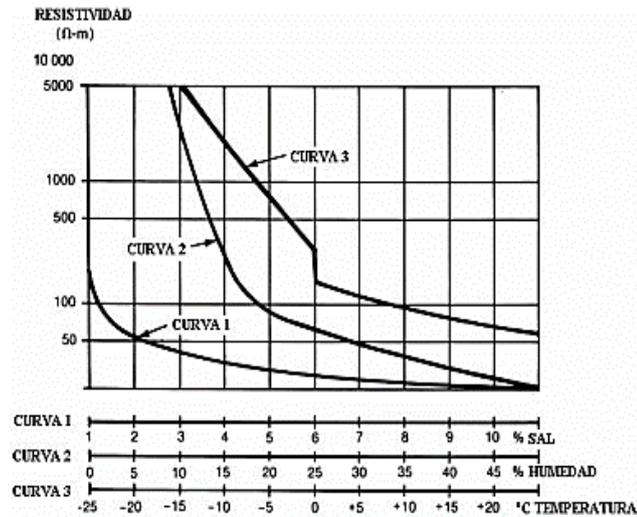


Fig. 4 Factores que afectan la resistividad [5]

En la Fig. 4 Factores que afectan la resistividad [5] Fig. 4 se puede observar que en la curva 1 se puede ver el efecto de las sales y minerales que mientras más porcentaje tenga su resistividad disminuye en la curva 2 plantea que mientras contenga humedad su resistividad disminuye pero cuando esta seco aumenta, la curva 3 menciona que mientras aumenta la temperatura la resistividad disminuye por el movimiento de partículas [5].

2.5.2 La humedad

La humedad es uno de los factores que pueden llegar a afectar considerablemente, por esta razón es importante considerar para la realización de las mediciones de la resistividad y el mantenimiento de un Sistema de Puesta a Tierra [26]. Dado que la humedad varía con las estaciones, la resistividad del suelo también fluctúa directamente en función de estos cambios. de este [25]. Para realizar la medición del suelo es necesario realizarla en la época en que el suelo se encuentre con un porcentaje de humedad cercana a cero, esto dará el valor que tiene la tierra a lo largo de todo el año [22] como se muestra en la

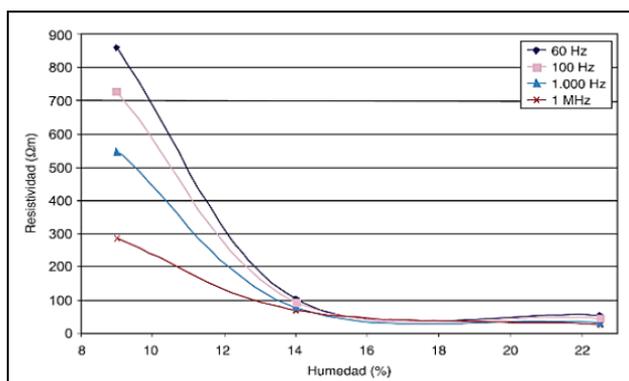


Fig. 5.

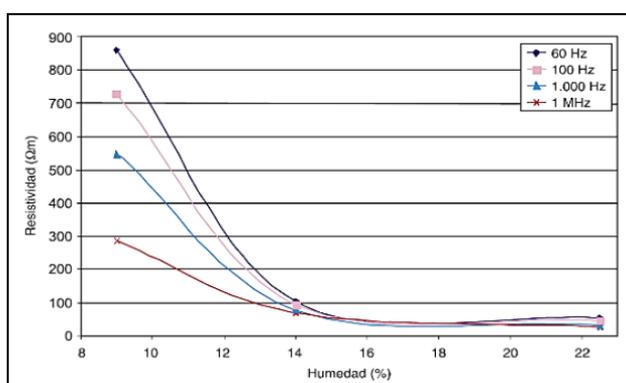


Fig. 5. Variación de la resistividad del suelo con respecto a la humedad a diferentes frecuencias [22]

2.5.3 La temperatura

La resistividad del suelo es una propiedad fundamental que determina el flujo de corriente eléctrica, sin embargo, la cantidad de voltaje puede variar considerablemente con la temperatura, a mayor grado la resistividad del suelo tiende a disminuir, mientras que a menor grado esta tiende a aumentar. En conclusión, la temperatura tiene relación directa con la humedad y la conductividad iónica del suelo [25].

La magnitud de calor en el ambiente puede influir directamente, especialmente en la capa superior, por ejemplo, los cambios estacionales pueden variar significativamente en la tierra, la disminución del grado de calor puede llegar al punto de congelación afectando la resistividad del suelo [25].

En el estudio no es muy notable debido a que las temperaturas permanecen constantes y los cambios climáticos no son lo suficientemente significativos como para alterar el valor de la resistividad del suelo [22]. como se muestra en la

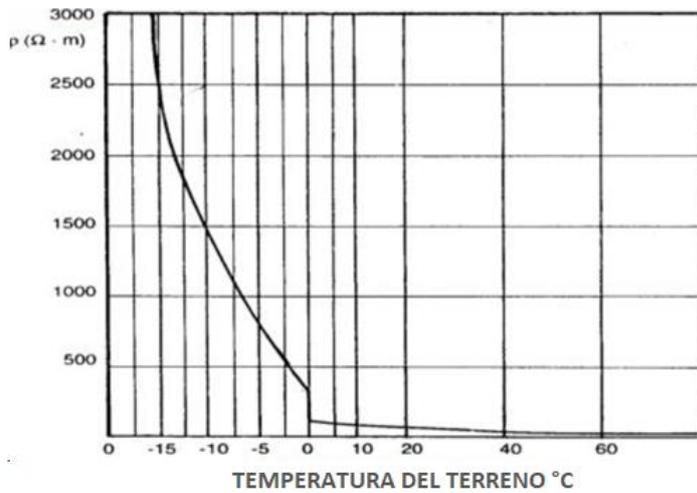


Fig. 6.

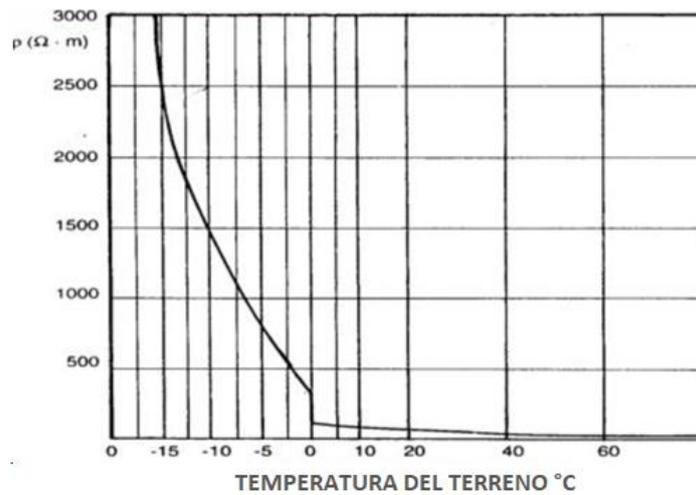


Fig. 6. Variación de la resistividad en función de la temperatura [27].

2.5.4 Las sales y minerales

La concentración que existe de las diferentes sales disueltas en el terreno es una característica importante en la resistividad [1]. Como en la Fig. 7 cuando existe una gran concentración de sal en el suelo mejora su conductividad. En forma general, sin embargo, Se puede afirmar que un terreno con mayor contenido de sal será un mejor conductor. [22].

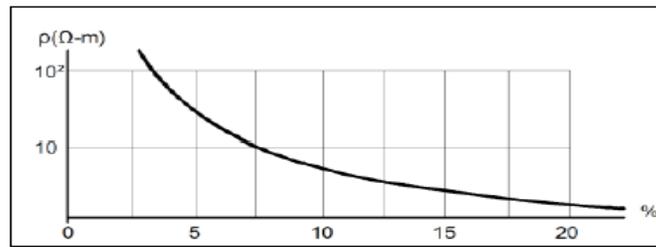


Fig. 7 Salinidad del suelo [22]

2.5.5 pH del suelo

El pH del suelo se encarga de medir el nivel de acidez o alcalinidad, lo cual puede afectar la medición de la resistividad, si contienen ácidos generalmente tienen una resistividad mayor que los alcalinos. Esto se debe a que los iones de hidrógeno (H^+) presentes en los suelos ácidos pueden disminuir la conductividad eléctrica. [17] como se muestra en la Fig. 8.

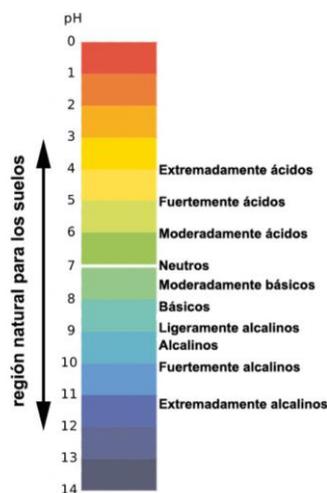


Fig. 8 Factores de resistividad pH del suelo [17].

2.6 Métodos de medición de la resistividad del suelo

Los cálculos de resistividad se realizan para identificar si hay variaciones en la medición del suelo a diferentes profundidades, por esta razón es necesario pasar corriente a través de ella, y la técnica básica más utilizada requiere al menos cuatro electrodos que se los introduce en el suelo, los mismo que son utilizados para inyectar una corriente

continúa en la superficie del terreno entre dos electrodos y realizar la medición entre los dos electrodos de voltaje colocados en el interior de la zona de inyección de la corriente[20].

Los métodos más utilizados para la medición de la resistividad del suelo según [17] son los métodos de los dos puntos, tres picas, Wenner y Schlumberger se detallan a continuación.

2.6.3 Método de los dos puntos (polo-polo)

Este método se utiliza para evaluar la resistividad eléctrica del suelo. Consiste en emplear un solo electrodo de corriente junto con otro electrodo de potencial para realizar la medición. Durante el procedimiento, se introduce corriente a través del electrodo transmisor y se registra la diferencia de potencial en el electrodo receptor. Una característica distintiva es la gran separación entre los dos electrodos.

Sin embargo, una limitación de este método radica en la distancia entre los electrodos, que puede generar interferencias telúricas significativas. Estas interferencias potenciales podrían afectar la exactitud de las mediciones, ya que la separación amplia entre los electrodos permite la influencia de señales externas[17].

Método polo-polo se observa la en la Fig. 9 que su forma de introducir las dos picas es de la siguiente manera C1 siendo la corriente inyectada y P1 el voltaje a una distancia “a” para medir la resistividad [17].

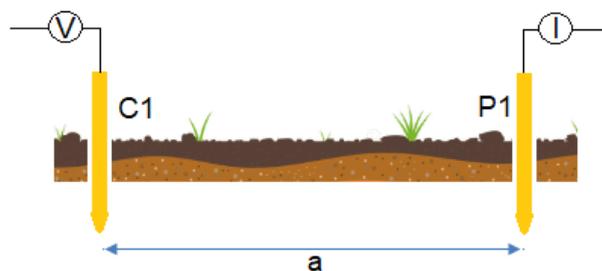


Fig. 9. Método polo-polo [10].

2.6.1 Método Wenner Alpha

El método más usado es el cuatro picas desarrollado por el Dr. Frank Wenner en 1915 [17]. En la práctica, este método es más útil hasta áreas de hasta 12 metros. Este método el consiste en calcular la resistividad suelo colocando cuatro electrodos C1 y C2 (de corriente), P1 y P2 (de Voltaje) para inyección de corriente y medición de diferencia de potencial respectivamente. Se disponen en línea recta separados a una misma distancia “a” entre los electrodos de corriente y voltaje, enterrados a una profundidad “b” que debe ser igual y menor al 5%, luego estos cuatro electrodos se conecta al telurómetro [10]

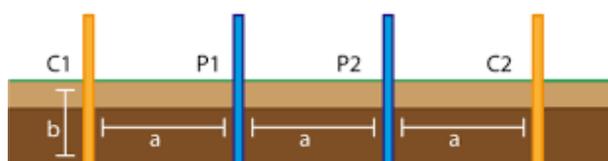


Fig. 10 Método de wenner Alpha [1]

En la Fig. 10 se observa que los electrodos de corriente C1, C2 y de voltajes P1, P2 se encuentra en línea recta con una separación de “a” entre.

2.6.2 Método schumberger

Este método es una modificación del método de Wenner Alpha la cual facilita una mayor sensibilidad para pruebas a distancias más largas. Su nombre proviene del científico Conrad Schlumberger quien fue el que propuso la geometría de arreglo [22]. En el Schlumberge las distancia no es solo “a”, la distancia del electrodo de corriente al de voltaje es de “na” y la distancia entre electrodos de voltaje es de “a” y hacia el otro electrodo de corriente es una distancia “na”[4] .

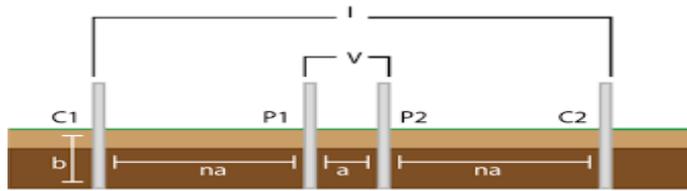


Fig. 11 Método de Schlumberger [21]

En la Fig. 11 se observa la ubicación de los electrodos en el método Schlumberger, se observa respectivamente C1, P1 a una misma distancia “na” y de P1 a P2 a una distancia “a” y P2 a C2 a una distancia “na”.

2.7 Sistema de Puesta a tierra (SPT)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) indica que el Sistema de Puesta a Tierra se utiliza para evitar que en una falla de circuitos y equipos electrónicos las personas lleguen a quedar expuestas a diferencias de potencial que excedan la capacidad de tolerancia del ser humano[2]. en la figura 1 se puede ver un ejemplo de un sistema de puesta a tierra.



Fig. 12 Sistema de puesta a tierra (SPT) [10]

2.7.1 Objetivos de una puesta a tierra

La puesta a tierra tiene como objetivo principal es ofrecer un camino seguro para que la corriente eléctrica se dirija hacia la tierra en caso de una falla, cortocircuito u otro problema que pueda causar una sobrecarga eléctrica. Esto ayuda a prevenir descargas eléctricas peligrosas para el personal y evita daños en los equipos[5].

Cuando ocurre una falla en un sistema eléctrico, la puesta a tierra genera un camino de baja resistencia para que la corriente de falla fluya hacia la tierra, por esto permite que la corriente se disipe de manera segura y rápida, minimizando el riesgo de daños en los equipos y evitando la posibilidad de incendios o explosiones [10].

La puesta a tierra también ayuda a proteger contra el sobrevoltaje transitorio causado por eventos como rayos, conmutación de equipos eléctricos u otras perturbaciones en el sistema eléctrico. Al generar un camino disminuyendo la resistencia para que el sobrevoltaje fluya hacia la tierra, la puesta a tierra ayuda a proteger los equipos y sistemas sensibles de daños[5].

La puesta a tierra es una herramienta adecuada para ayudar a proteger al personal contra las posibles descargas eléctricas por la magnitud del sobrevoltaje, además, de proteger los componentes internos del transformador. Cabe destacar que esta herramienta contribuye a estabilizar el trabajo eléctrico del sistema al proporcionar un punto de referencia común con la tierra. También ayuda a reducir la posibilidad de diferencias de potencial peligrosas entre los equipos y componentes del sistema, lo que podría causar descargas eléctricas o daños en los equipos [11].

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente capítulo tiene como objetivo la descripción del lugar en el cual se realizó el estudio de la resistividad típica de los diferentes tipos de suelos, los equipos de medición utilizado para la toma de datos. Se emplearon programas especializados en el proceso. Adicionalmente, se presentan los distintos enfoques de investigación aplicados y el protocolo general seguido en la elaboración de este proyecto de titulación.

3.1 Descripción del lugar de estudio

La recolección de datos de la resistividad de los diferentes tipos de suelos se realizó en Ibarra en la parroquia El Sagrario.

Se estableció la investigación a estos puntos, debido su fácil accesibilidad para diferentes tipos de suelo y la altura distinta de cada lugar. Las mediciones que se llevaron a cabo a 1, 2, 3, 4, 5 y 6 metros de separación entre picas utilizando un equipo especializado en los siguientes lugares de la TABLA II.

TABLA II
Distribución de ubicaciones de toma de muestras (Autor).

Lugar	Coordenadas
Loma de Guayabillas.	0°20'21.2"N 78°06'26.7"W 2.355 m.
Universidad Técnica del Norte campus El Olivo.	0°21'21"N 78°06'46"W 2,200 m
Río Tahuando sector piedra Chapetona.	0°20'54"N 78°06'42"W 2,184 m
Parque de La Familia Yacucalle.	0°20'31"N 78°07'12"W 2,214 m
Mirador San Miguel de Arcángel.	0°21'07"N 78°06'04"W 2,378 m



Fig. 13 Punto de muestreo [28] .

A continuación, se detalla en cada lugar los puntos de muestreo que se realizó, mediante la ayuda de la Fig. 13 en la cual mediante puntos de distinto color se resaltara el punto de medición. Para los suelos arcillosos serán de color tomate, los suelos humus serán de color amarillo y el suelo pedregoso será de color azul.

3.2 Descripción de la metodología.

Para el desarrollo del presente proyecto se aplicaron distintos métodos de investigación, tanto, teóricos como prácticos. Se inicio buscando en Google académico fuentes bibliográficas como libros, tesis, revistas científicas, relacionadas al modelamiento de la resistividad típica de diferentes tipos de suelo, el uso del telurómetro, además de softwares especializados. Esto, en conjunto con el método descriptivo, permitieron la recopilación de información relevante de los diferentes tipos de suelos que caracterizan la parroquia mencionada, así como sus propiedades resistivas.

A continuación, se analizó para delinear un método y equipos de medición adecuado para el procedimiento. Las mediciones se realizaron mediante el método de Wenner Alpha de cuatro picas mediante la técnica de la brújula la cual consiste en tomar el norte como referencia y en sentido horario girar 45 grados por cada medición. Para las mediciones en el área de muestreo se hizo uso de un telurómetro, para la medición de la resistividad del suelo y un higrómetro, para la medición del pH del suelo.

Posteriormente se realizó un estudio de campo, en el cual se realizó la identificación y clasificación de los diferentes suelos, a continuación, se realizó la elección de sitios representativos que abarquen la diversidad de suelos en la parroquia, mediante la variación del tipo de suelo (rocoso, húmedo, arcilloso).

Finalmente, se aplicó el método experimental, para la obtención de datos específicos sobre la resistividad típica de los diferentes suelos en la parroquia, en el cual se incluye el levantamiento de datos sobre la composición del suelo y de la resistividad, mediante el uso de un telurómetro. Mediante la utilización del software IPI2Win permitió realizar tablas de muestreo para los diferentes tipos de suelos presentes en la zona de estudio.

3.4 Diseño de la investigación

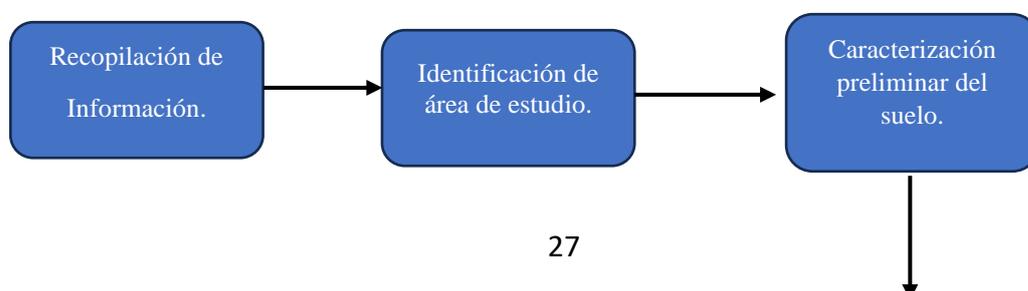
La investigación cuantitativa se llevó a cabo mediante la aplicación de un enfoque experimental, usando el telurómetro para recopilar datos numéricos sobre la resistividad del suelo en diferentes ubicaciones de la parroquia.

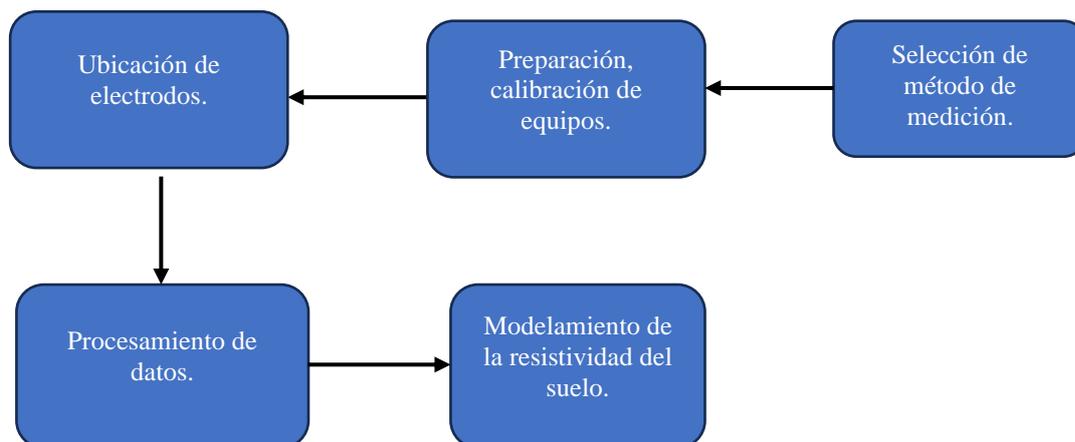
El proceso incluyó la conexión del telurómetro al suelo mediante electrodos, generando así una corriente eléctrica para medir la caída de voltaje resultante. Estos datos cuantitativos se recopilaron en varios puntos de muestreo en la parroquia, proporcionando una visión detallada de la resistividad del suelo en diferentes áreas. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis estadístico de los datos recopilados para la resistividad típica de los diversos tipos de suelos presentes en la parroquia El Sagrario. Este enfoque cuantitativo permitió obtener información exacta y medible sobre las características eléctricas de los suelos, obteniendo referencias para el modelamiento de la resistividad en la zona de estudio.

3.5 Procedimiento general

En procedimiento general del presente proyecto se ha determinado los pasos y técnicas a seguir, para la obtención de la resistividad del suelo en la parroquia, con el fin de su modelamiento.

El procedimiento general del actual proyecto se realizó en varias etapas, en un orden determinado para la obtención de datos que se alinean con los objetivos planteados en el marco de este proyecto.





3.5.1 Recopilación de información

El avance del presente proyecto se inició con la recopilación de información proveniente de diversas fuentes bibliográficas, tales como proyectos de investigación, artículos científicos, manuales de equipos, libros y sitios web especializados. Esta fase tiene como objetivo principal adquirir conocimientos sobre los procesos y etapas requeridos para llevar a cabo el modelamiento de la resistividad típica de los diferentes tipos de suelos presentes en la Parroquia El Sagrario del Cantón Ibarra.

3.5.2 Identificación de área de estudio

La selección de las áreas respectivas en la parroquia, este estudio es crucial para garantizar la representatividad de los datos obtenidos durante la investigación de la resistividad del suelo en la parroquia. Este proceso implica una cuidadosa selección de ubicaciones que abarquen los distintos suelos presentes en la región.

3.5.3 Caracterización preliminar del suelo

La caracterización preliminar del suelo implica evaluar diversas propiedades y características del suelo en una ubicación específica. Identificar si el suelo es arcilloso, humus o pedregoso.

Para caracterizar el suelo se lo puede hacer mediante distintos métodos, uno de los métodos es mediante la observación visual y táctil, la cual consiste en examinar el suelo a simple vista y tocarlo para evaluar su textura, color y estructura. Por ejemplo, puedes notar si el suelo es arcilloso (pegajoso cuando está mojado) o humus (textura suave, color oscuro y con restos de materia orgánica) y pedregoso (su gran cantidad de piedras) También puedes observar el color del suelo, que puede variar dependiendo de su contenido de materia orgánica y minerales como se muestra en la TABLA III.

TABLA III
CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS.

	Arcilloso	Humus	Pedregoso
Textura	Se siente suave y pegajoso al tacto cuando está húmedo.	Generalmente es suave, ligero y esponjoso al tacto.	Se siente áspero al tacto debido a la presencia de piedras, guijarros o cantos rodados.
Drenaje	Tiende a retener agua durante períodos prolongados, lo que puede resultar en problemas de drenaje.	Tiene una buena capacidad de retención de agua, pero también un buen drenaje.	Suele tener un buen drenaje debido a la presencia de las piedras que permiten el flujo del agua.
Forma	Se puede moldear fácilmente cuando está húmedo y tiende a agrietarse cuando está seco.	Oscuro, a menudo negro o marrón oscuro debido a la alta materia orgánica.	Contiene una alta proporción de materia inorgánica en forma de piedras o fragmentos de roca
Cultivo	Es fértil debido a su capacidad de retener nutrientes, pero puede ser difícil de trabajar debido a su consistencia pegajosa.	Rico en materia orgánica descompuesta, lo que lo hace muy fértil.	Puede ser difícil para el cultivo directo debido a la presencia de piedras, pero puede ser adecuado para cultivos que no requieran un suelo muy profundo.

3.5.4 Selección de método de medición

Según el estudio de Jordán Vallejos [17] se selecciona el método Wenner Alpha. Este método presenta varias ventajas significativas en comparación con otros métodos de medición de resistividad del suelo.

Una de las ventajas más destacadas del método Wenner Alpha es su capacidad para ajustar la profundidad de penetración de la corriente eléctrica en el suelo variando la separación entre los electrodos de corriente y los electrodos de voltaje. Esto permite obtener información detallada sobre la resistividad del suelo a diferentes profundidades.

A pesar de su capacidad para proporcionar mediciones detalladas de la resistividad del suelo, el método Wenner Alpha es relativamente simple de implementar en el campo. Se realiza con equipos básicos y no implica procedimientos complicados, lo que lo hace accesible incluso para aquellos sin experiencia, además puede adaptarse para su uso en una variedad de condiciones y entornos, desde estudios de laboratorio hasta investigaciones de campo a gran escala. Esta capacidad de adaptación lo hace útil en una amplia gama de aplicaciones.

En comparación con otros métodos de medición de resistividad del suelo, el método Wenner Alpha puede resultar más económico, especialmente para proyectos de investigación o monitoreo a largo plazo. La simplicidad de los equipos y procedimientos necesarios puede contribuir a reducir los costos asociados con la recopilación de datos de resistividad del suelo. Este método ofrece una combinación única de flexibilidad, precisión, simplicidad y costo efectivo, lo que lo convierte en una opción popular y ampliamente utilizada para la medición de resistividad del suelo en una variedad de aplicaciones.

3.5.5 Preparación y calibración de equipos

Para garantizar mediciones precisas y confiables es indispensable preparar el equipo antes de usarlo, además, es necesario la calibración del telurómetro por una entidad certificada.

Antes de usar el telurómetro se realizó una inspección visual del instrumento para asegurar que no haya daños visibles, cables sueltos o partes rotas. Además, se revisó las clavijas de conexión, los electrodos que estuvieron limpios y libres de suciedad, óxidos u otros contaminantes que puedan afectar las mediciones. Si el telurómetro es alimentado por batería se debió asegurar que estén completamente cargadas para evitar interrupciones durante las mediciones. Configurar el telurómetro según las especificaciones de la aplicación a realizarse, como la frecuencia de medición, la corriente de prueba.

En la calibración se verifica la precisión del telurómetro utilizando resistencias de referencia conocidas. Esto ayudará a detectar cualquier desviación en las mediciones y realizar un ajuste en caso de ser necesario, además, calibrar los cables de conexión del telurómetro para tener en cuenta cualquier resistencia adicional introducida por los cables, es importante en mediciones de resistencia de tierra donde las longitudes de cable pueden ser significativas. Asegurar de documentar todas las calibraciones realizadas, incluidas las fechas y los resultados. Esto permite mantener un registro de la precisión del telurómetro a lo largo del tiempo y a realizar ajustes periódicos según sea necesario, para comenzar las mediciones en el campo realizar una verificación final para asegurar de que el telurómetro esté funcionando correctamente y que esté listo para su uso.

3.5.6 Ubicación de electrodos

Mediante el uso del método de medición antes mencionado se realizó la utilización de las cuatro picas que se dispone en las siguientes distancias de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 metros, como se puede observar en la Fig. 14, se indica como fue realizada la ubicación de las picas en el punto de medición.



Fig. 14. Ubicación de picas.

La técnica empleada será la de la brújula, la cual utiliza la orientación del norte como referencia inicial. La primera medición se realizará en esta orientación y para las tres siguientes mediciones se rotará en sentido horario cada 45 grados, en la Fig. 15 se muestra la ubicación de los electrodos.

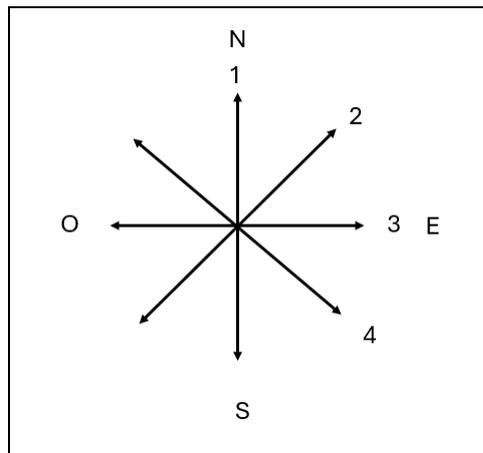


Fig. 15. técnica de la brújula

3.5.7 *Procesamiento de datos*

Durante la operación del telurómetro, se realizaron mediciones de resistividad del suelo utilizando electrodos de corriente y potencial. Estas mediciones pueden ser puntuales (a diferentes profundidades) o en forma de mapeo en un área específica. Los valores medidos de resistividad del suelo se registran junto con la configuración del

telurómetro utilizada durante la medición. Una vez que se han recopilado los datos se realizara una tabulación, a continuación, se realiza un análisis para interpretar los resultados, así como la identificación de tendencias o patrones en los datos que se encuentren fuera de rango.

Con base en el análisis de los datos, se realizaron interpretaciones sobre las características del suelo, como la presencia de capas geológicas, la variabilidad de la resistividad a diferentes profundidades. Los resultados del procesamiento de datos se presentan de manera adecuada para su análisis. Esto puede incluir la creación de gráficos, tablas, mapas o informes que comuniquen claramente los hallazgos obtenidos durante las mediciones. Es importante validar los resultados del procesamiento de datos para garantizar su precisión y confiabilidad. Esto puede implicar la comparación de los datos obtenidos con mediciones de referencia o la repetición de algunas mediciones para confirmar la consistencia de los resultados. Los datos procesados y los resultados finales se almacenan de manera segura para futuras consultas y referencia.

3.5.9 Modelamiento de la resistividad del suelo

El modelado de la resistividad del suelo es un proceso mediante el cual se utiliza información recopilada de mediciones de resistividad para crear un modelo que represente la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, mediante los resultados que fueron tabulados, se ordenaron mediante la caracterización antes mencionada, sus parámetros y la observación de datos obtenidos, con el software IPI2win se procedió a introducir los datos para obtener el modelado de resistividad típica, para conocer sobre cómo se encuentra los rangos de resistividad suelo, posteriormente, como en la Fig. 16 los datos se grafican cada uno de los puntos tomados de medición, se pudo observar datos fuera de rango que no va en relación con los otros puntos y se puede considerar como una mala medición y eliminar este punto sin afectar a los demás.

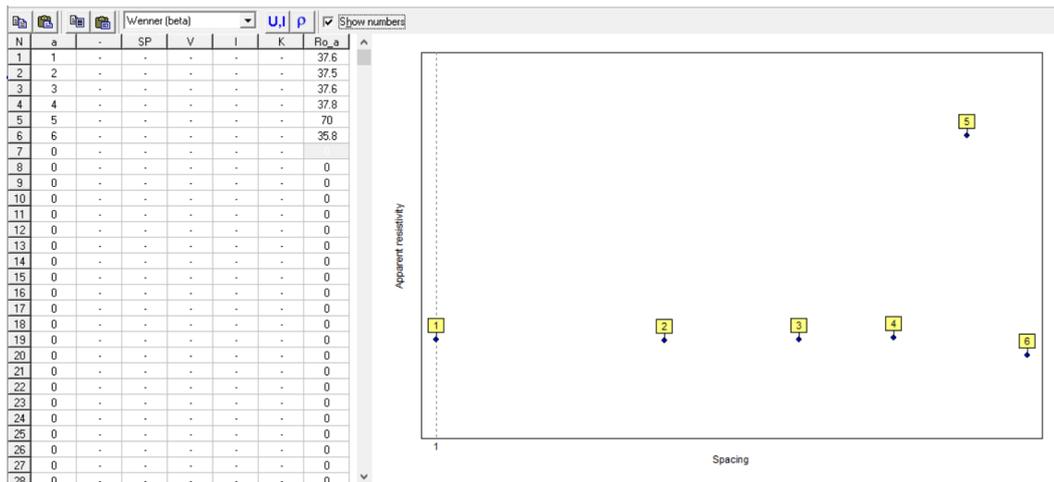


Fig. 16. Depreciación de puntos.

3.6 Materiales.

A continuación, se describe los materiales utilizados en la realización de este proyecto, como los parámetros matemáticos, equipo de medición, los programas informáticos utilizados, así como los datos de las coordenadas del lugar de investigación.

3.6.1 Equipo de medición.

3.6.1.1 Telurómetro DUOYI 4300B

La medición se efectuó utilizando el instrumento de medición de marca DUOYI 4300B de cuatro terminales, Este dispositivo puede medir sistemas de puesta a tierra en subestaciones, industrias y redes de distribución de energía, así como determinar la resistividad del terreno para la instalación de sistemas de puesta a tierra de baja, media y alta tensión [24]. Funciona acorde con la normativa IEC 61010 – 1 CAT.III 300V.

El telurómetro DUOYI 4300 B posibilita la obtención de los datos de resistividad del suelo en $\Omega \cdot m$, a través de una fórmula interna incorporada en el equipo [24].



Fig. 17 teluometro

Características

- Medición de resistencia de tierra de 4 terminales hasta 209,9k ohmios con resolución de 0,001 ohmios
- Medición de resistividad del suelo 0,3 a 1999KΩ.m
- Medición de tensión de interferencia 0~50 VCA rms
- Los ricos resultados de las pruebas que se muestran incluyen la resistencia de los picos de tierra, la frecuencia de la corriente de prueba, el voltaje detectado y la frecuencia de la interferencia, la resistencia residual Rk, etc.
- Frecuencias automáticas/manuales opcionales (94/105/111/128 Hz)
- Compensación de la resistencia residual Rk
- Memoria de datos 1000 juegos
- Cumple con CATIV 150V, CATIII 300V

3.6.1.2 Medidor pH SR300B

El medidor SR 300B ofrece medidas importantes como el valor del pH, temperatura, humedad e intensidad, Además de las características, también tiene una pantalla LCD de gran tamaño y apagado automático. Este instrumento es una gran

herramienta para medir las condiciones de crecimiento de todo tipo de plantas de interior y exterior [29].



Fig. 18. Medidor de pH [29]

Características

- Mide la luz solar (9 niveles), la humedad del suelo (5 niveles), el pH del suelo (12 niveles) y la temperatura (°C y °F).
- Sonda de 8 pulgadas o 200 mm de largo.
- Apagado automático apagado.
- Función de luz de fondo.
- Encuesta intensidad de la luz del entorno actual.
- Mediciones rápidas y precisas.
- Gran herramienta para ayudar a arreglar su césped cuando el césped no quiere crecer en ciertas áreas de su jardín.

3.6.2 Software.

3.6.2.1 IPI2win

Como lo dice [19] este software está diseñado para la interpretación automática o semiautomática de las curvas de sondeo electrovertical a lo largo de un perfil en 1D. El usuario es un intérprete con la debida experiencia para resolver problemas geológicos y lograr el ajuste de las curvas de sondeos teórica y calculada. Su enfoque a la obtención de un resultado geológico en la característica que distingue a IPI2Win de otros programas populares de inversión automática [30].

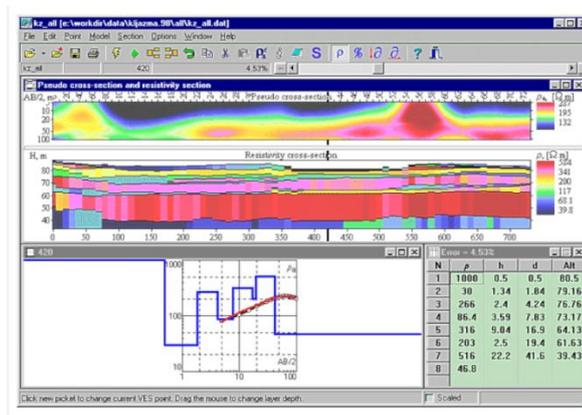


Fig. 19 Pantalla de IPI2win [19]

3.6.2.2 ETAP

El software ETAP es un programa importante de estudio de los sistemas eléctricos en esta ocasión la configuración de diferentes mallas de puesta a tierra. Entre los estudios más importantes para la planificación, operación y mantenimiento de los sistemas eléctricos se incluyen los análisis de flujo de carga, cortocircuito y coordinación de protecciones. Este trabajo de grado propone guías para la realización de estos estudios utilizando el software ETAP. [31].

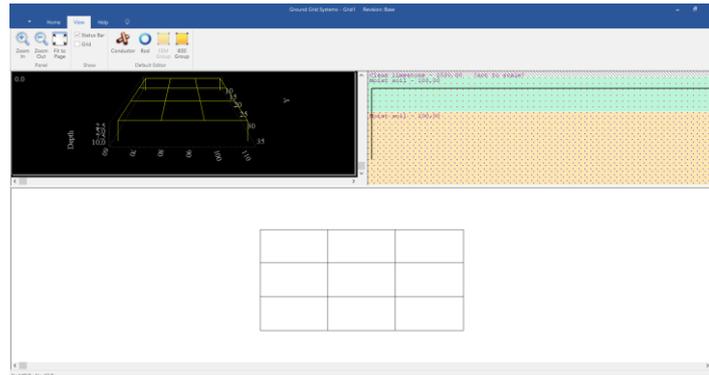


Fig. 20. Pantalla de ETAP

3.6.3 Procesos matemáticos.

Como se mencionó anterior mente se utilizará el método Wenner Alpha, es consta de las siguientes ecuaciones las cuales ayudan a obtener la resistividad y la resistividad por metro cubico En este método de medición de la resistividad del suelo el cual consiste en colocar cuatro electrodos en el suelo dispuestos en línea recta con una distancia a entre ellos y enterados a una profundidad de 5% o menor, luego se los conecta en los bornes del telurómetro. [32].

La relación entre la V y la I (Ley de Ohm), es el valor de la resistencia variable que se registra en el medidor:

$$R = \frac{V}{I}$$

Ecuación 1

Entonces el valor de la resistividad aparente que se calculará para un estrato de terreno será:

$$\rho = 2\pi \cdot a^2 \cdot R$$

Ecuación 2

ρ = Resistividad promedio en ohmios por metro (Ω -m).

α = Distancia de separación entre electrodos.

R = Lectura del telurómetro en ohmios (Ω).

$\pi = 3.1415926\dots$

CAPITULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se conoce que la resistividad es una de las magnitudes físicas más variables por la influencia de algunos factores y la complejidad del entorno donde se realiza el estudio. Por lo cual, es importante conocer cómo influyen estos factores en el valor de resistividad.

4.1 Datos de la resistividad de suelo en los diferentes puntos de la Parroquia el Sagrario

La calificación en la parroquia El Sagrario, se realizó con los diferentes valores obtenidos en los puntos de medición, que se describen a continuación:

4.2.1 Datos del suelo arcilloso.

El suelo arcilloso se caracteriza por su resistividad menor a la del pedregoso y algo similar a la del humus. La que puede variar ampliamente dependiendo de su composición específica y su estado de compactación. Por lo general, contiene una cantidad significativa de minerales y retiene cierta cantidad de humedad, lo que afecta su resistividad eléctrica. A continuación TABLA IV se muestra el resultado obtenido.

TABLA IV
RESULTADOS PROMEDIO DEL SUELO ARCILLOSO

Promedio arcilloso						
Distancia "a"(m)	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	punto 5	Promedio
1	67.00	101.95	104.45	103.48	94.22	94.22
2	67.08	61.95	62.50	101.78	73.33	73.33
3	78.10	54.95	55.03	98.20	71.57	71.57
4	88.08	53.05	54.18	95.05	72.59	72.59
5	96.95	52.60	52.93	92.00	73.62	73.62
6	98.10	51.00	50.90	86.33	71.58	71.58
pH	9.00					

4.2.2 Datos del suelo humus.

En la obtención de datos en el suelo orgánico, también conocido como humus, tiene una resistividad eléctrica mayor que la arcilla, pero menor que los pedregosos. La cantidad de humedad presente puede variar, además, debido a la materia orgánica en descomposición y a la mezcla con otros materiales, además, llega a ser moderada como se puede observar en la TABLA V

TABLA V
RESULTADOS PROMEDIO DEL SUELO HUMUS

Promedio humus							
Distancia "a"(m)	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	punto 5	Punto 6	Promedio
1	35.58	35.33	13.08	13.40	12.83	12.80	22.04
2	30.73	34.60	13.58	15.50	12.30	16.10	21.34
3	26.78	34.43	15.20	19.63	13.28	19.35	21.86
4	24.53	37.10	14.68	23.45	14.40	22.08	22.83
5	26.05	38.00	12.95	26.18	14.53	25.73	23.54
6	25.33	41.63	15.70	26.68	14.80	26.13	24.83
pH				8.12			

En comparación con la arcilla, que es un suelo con alta capacidad de retención de agua y minerales, el humus se caracteriza por una resistividad eléctrica mayor. Esto se debe a que la materia orgánica en descomposición y la mezcla con otros materiales del suelo interfieren en la conducción eléctrica, lo que resulta en una resistencia eléctrica más alta.

Sin embargo, en comparación con los suelos pedregosos, que tienen una alta proporción de partículas minerales grandes y una baja retención de humedad, el humus generalmente tiene una menor. Esto se debe a que tienden a permitir una mejor conductividad eléctrica debido a la presencia de partículas conductoras, como minerales metálicos, que facilitan el flujo de corriente eléctrica.

4.2.3 Datos del suelo pedregoso

Los suelos pedregosos, que contienen una cantidad importante de piedras o rocas, tienden a tener una resistividad alta. Esto se debe a que pueden interrumpir la continuidad eléctrica, en comparación con los arcillosos o humosos, en la TABLA VI se observa los resultados.

TABLA VI
RESULTADOS PROMEDIO DEL SUELO HUMUS

Promedio pedregoso						
Distancia "a"(m)	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	punto 5	Promedio
1	757.58	711.40	581.90	653.90	555.33	652.02
2	804.65	750.80	628.08	685.93	576.48	689.19
3	865.33	820.20	697.65	729.85	603.48	743.30
4	906.83	866.58	743.50	777.78	653.38	789.61
5	994.30	931.25	797.33	875.28	701.33	859.90
6	1068.25	982.55	847.60	919.30	706.30	904.80
pH	7,44					

4.3 Modelación de la resistividad

Por consiguiente, se llevó a cabo la modelación del suelo mediante el empleo del programa IPI2Win. Este proceso permitió obtener una representación detallada y estructurada de las características del suelo, revelando información valiosa sobre sus propiedades eléctricas y su resistividad.

4.3.1 Modelación IPI2Win

La utilización de IPI2Win se presenta como una herramienta integral, ofreciendo la posibilidad de analizar y visualizar las distintas formas y comportamientos del suelo.

Este software, ayudara a la modelación de la resistividad para facilita la interpretación de datos obtenidos en el campo de estudio de los tres tipos de suelo como

se puede observar en la TABLA VII, TABLA VIII y TABLA IX el promedio, además en los Anexo 4, Anexo 7 y

Anexo 10 la distribución de los puntos, igualmente en los

Anexo 5,

Anexo 8 y

Anexo 11 se detalla en las gráficas. El promedio de los suelos y la altura se encuentra la primera capa del suelo y su resistividad. Mediante los datos obtenidos en programa IPI2win que se los puede ver en los Anexo 6,

Anexo 9 y

Anexo 12 se pudo realizar las tablas.

TABLA VII
MODELACION PROMEDIO DEL SUELO ARCILLOSO

	Rho (Ω m) capa 1	altura de la capa 1 m	Rho (Ω m) capa 2
Promedio	128	0.5	69.7

TABLA VIII
MODELACION PROMEDIO DEL SUELO HUMUS

	Rho (Ω m) capa 1	altura de la capa 1 m	Rho (Ω m) capa 2
Promedio	21.49	6	44.11

TABLA IX
MODELACION PROMEDIO DEL SUELO PEDREGOSO

	Rho (Ω m) capa 1	altura de la capa 1 m	Rho (Ω m) capa 2
Promedio	647.6	2.806	1240

En la Fig. 21 se presentan gráficamente los resultados de la modelación del **Anexo 4**, **Anexo 5**. Grafica del suelo arcilloso. Y **Anexo 6**, Estos datos permiten visualizar claramente las características de los tres tipos de suelo analizados. El pedregoso, con sus dos capas, muestra la mayor resistividad, mientras que el humus, rico en materia orgánica, tiene la menor resistividad. El arcilloso, con su contenido de sales, se encuentra en un punto intermedio en términos de resistividad. Además de detallar el modelamiento de las capas de suelo con su resistividad y su altura que tiene cada una según su tipo de suelo.

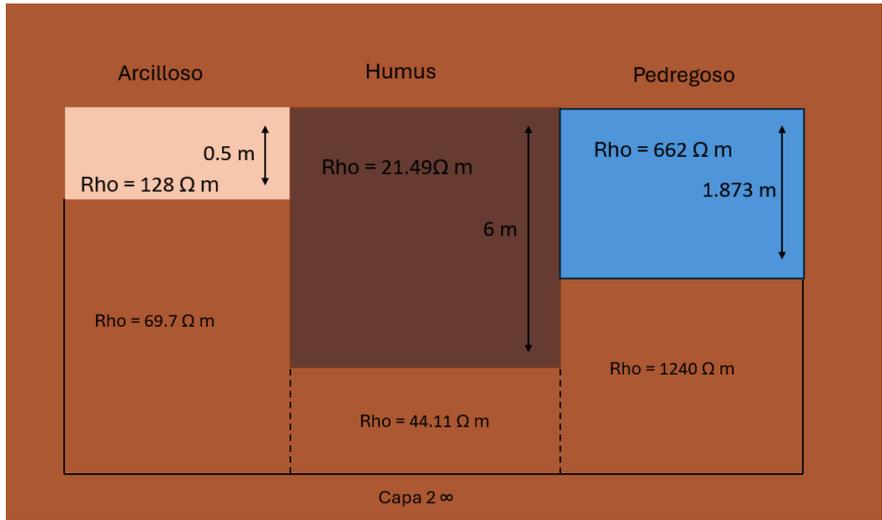


Fig. 21. Modelamiento de los diferentes suelos de estudio.

4.3.1 Modelación ETAP

Mediante el uso del software ETAP se procedió a realizar configuraciones de puesta a tierra usando los datos de suelo en sus capas anteriormente obtenidos en el programa IPI2win, mediante la norma [5], NEC [2] se realizó el dimensionamiento de los electrodos y conductores como en su longitud (largo) de 1.80 metros como se muestra en la Fig. 22.

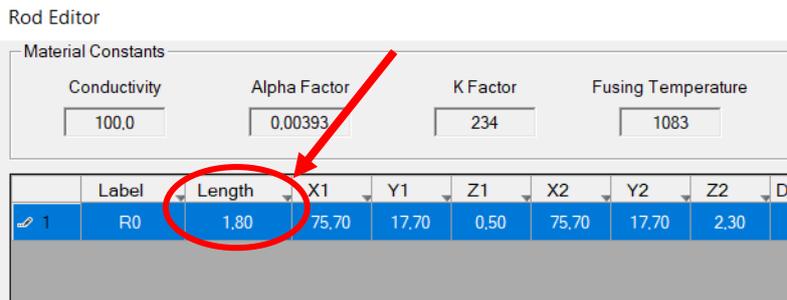


Fig. 22. Longitud de electrodo.

El diámetro (grosor) de (0.16 m) y la profundidad que será de 0.5 metros por debajo del nivel del suelo como se muestra en la Fig. 23.

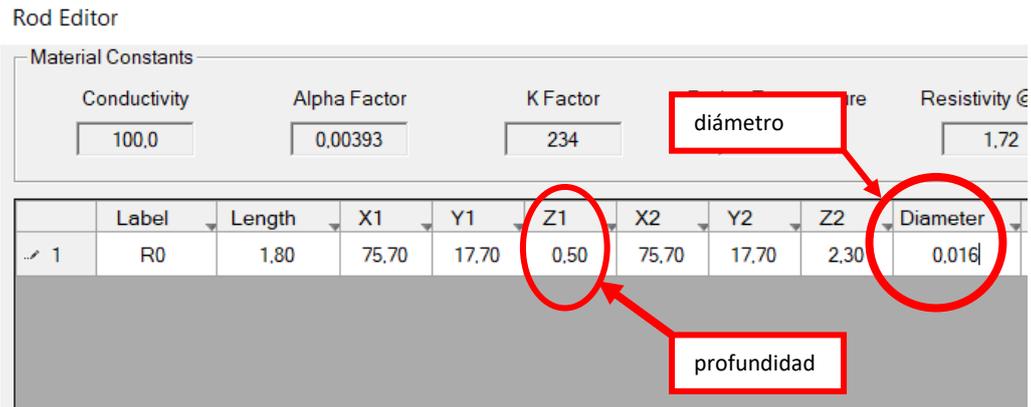


Fig. 23. Diámetro y profundidad de los electrodos.

Además de la separación de los electrodos será entre los electrodos de 3 metros, por lo cual usará esta medida como se muestra en la Fig. 24.

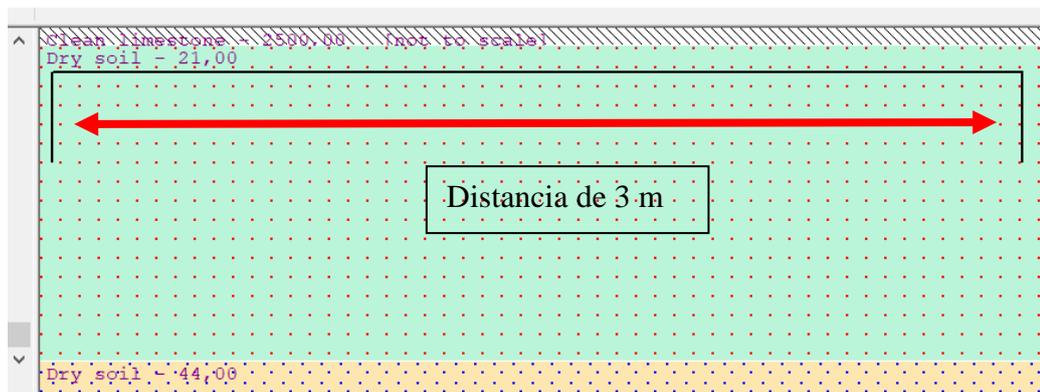
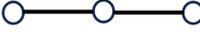
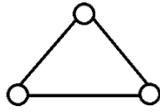
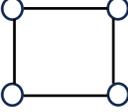
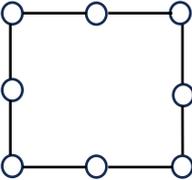


Fig. 24. Distancia entre electrodos.

En las TABLA X TABLA XI

TABLA XII se detalla de forma puntual el porcentaje de reducción de la resistencia según la configuración de los electrodos.

TABLA X
CONFIGURACIÓN DE VARILLAS SUELO ARCILLOSO

Configuración	Descripción	Porcentaje de reducción de la resistencia de la malla
	1 electrodos	
	2 electrodos en paralelo	66.34%
	3 electrodos en línea	77.90%
	3 electrodos en delta	79.84%
	4 electrodos en cuadro	84.51%
	8 electrodos en cuadro	85.51%

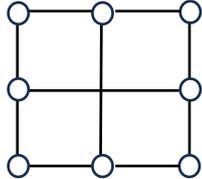
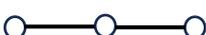
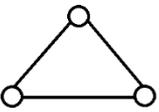
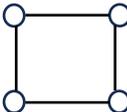
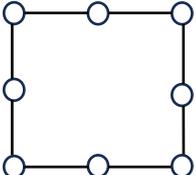
	8 electrodos en cuadro y 2 conductores.	85.98%
---	---	--------

TABLA XI

CONFIGURACIÓN DE VARILLAS SUELO HUMUS

Configuración	Descripción	Porcentaje de reducción de la resistencia de la malla
	1 electrodos	
	2 electrodos en paralelo	66.27%
	3 electrodos en línea	76.79%
	3electrodos en delta	78.47%
	4 electrodos en cuadro	84.45%
	8 electrodos en cuadro	83.70%

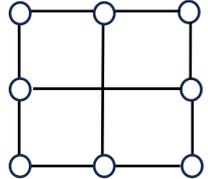
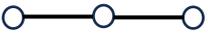
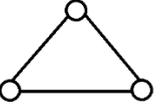
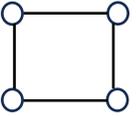
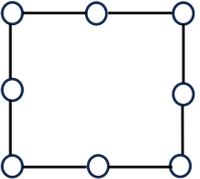
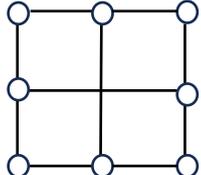
	8 electrodos en cuadro y 2 conductores.	84.13%
---	---	--------

TABLA XII

CONFIGURACIÓN DE VARILLAS SUELO PEDREGOSO

Configuración	Descripción	Porcentaje de reducción de la resistencia de la malla
	1 electrodos	
	2 electrodos en paralelo	66.44%
	3 electrodos en línea	75.36%
	3 electrodos en delta	78.63%
	4 electrodos en cuadro	85.44%
	8 electrodos en cuadro	83.29%

	8 electrodos en cuadro y 2 conductores.	83.70%
---	---	--------

Los datos de ETAP se encuentran en

Anexo 18 hasta en **Anexo 38**.

Conclusiones

Se destaca la importancia de considerar los factores como humedad y temperatura al momento de realizar las mediciones, ya que esto influye directamente en los valores de resistividad del suelo del lugar de estudio.

Se evidenció que los suelos de la región presentan una considerable variabilidad en sus propiedades eléctricas, mediante el análisis de resistividad indicaron que los suelos de humus, arcillosos y pedregosos poseen resistividades significativamente distintas, lo

cual refleja sus diversas composiciones y estructuras. Esta información es fundamental para la correcta evaluación y modelamiento del terreno.

Los resultados de estudio permiten una aplicación práctica para facilitar una construcción de mallas de puesta a tierra. La comprensión detallada de las variaciones de resistividad en la capa superficial de los suelos permite diseñar e implementar soluciones eficientes y seguras, adaptadas a las particularidades de los suelos locales, más eficientes y seguras, adaptadas a las particularidades de los suelos locales.

Recomendaciones

- Se debería considerar la posibilidad de ampliar el área de estudio para incluir la determinación de la resistividad en distintos tipos de suelos, como limo, arena y calizas. Esto permitiría obtener una visión más completa y precisa de cómo varía la resistividad en diferentes suelos.
- Realizar estudios en laboratorios para obtener valores reales de la resistencia, considerando que los métodos utilizados determinan únicamente una resistencia aparente.

Referencias bibliográficas

- [1] J. Guevara-Luna, I. Arroyo-Herrera, Y. Bahena-Osorio, B. Román-Ponce, and M. S. Vásquez-Murrieta, “Suelos salinos: fuente de microorganismos halófilos asociados a plantas y resistentes a metales,” *Alianzas y Tendencias-BUAP*, vol. 5, no. 17, pp. 29–51, 2020, [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12371/9397>
- [2] M. Iza, M. Franklin, C. Parra, and et all, “Norma Ecuatoriana de la Construcción: Instalaciones Eléctricas,” *Minist. Desarro. Urbano y Vivienda*, p. 25, 2018, [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>
- [3] R. Eléctrica *et al.*, “Universidad científica del Perú facultad de ciencias e ingeniería,” 2022.
- [4] C. G. Coronel and F. M. Sinchi, “Diseño y evaluación de configuraciones de puesta a tierra en diferentes tipos de suelo empleando materiales de baja resistividad,” 2021, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20439>
- [5] S. D. C. A, “IEEE - Guía para la Seguridad de puesta a tierra,” 2000.
- [6] R. F. B. PAZ, “Utónoma de,” 2018.
- [7] M. Peláez, P. Omar, R. Ríos, and G. Marcos, “Universidad científica del Perú,” 2023.
- [8] EPM, “Ra8-020 Norma De Construcción De Acometida Aérea Y Subterránea En Baja Tensión Centros De Excelencia Técnica,” pp. 1–31, 2020.

- [9] L. Navarrete and M. Tapia, “Universidad Técnica de Cotopaxi UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI,” *Sist. Biodigestor*, p. 82, 2019, [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>
- [10] S. Sinchi and F. Mauricio, “CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico,” 2017.
- [11] J. C. Gomez, J. Vaschetti, and C. V. Coyos, “Generación Distribuida: Tipo de Conexión del Transformador de Interconexión,” *Cigre*, 2009, [Online]. Available: http://www.labplan.ufsc.br/congressos/xiii_eriac/c6/c6-102.pdf
- [12] R. D. Ríos Ramírez and J. M. Sánchez Alvarez, *Estudio geofísico mediante sondeos eléctricos verticales (Wenner-Schlumberger) para determinar las características del suelo del sector la Planicie, Morales 2020*. 2020. [Online]. Available: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [13] W. Villa, J. Rodríguez, and J. Saldarriaga, “Estimación de Parámetros del Suelo de dos Capas usando el Algoritmo de Optimización de Mapeo Media-Varianza,” *Inf. tecnológica*, vol. 30, no. 1, pp. 299–310, 2019.
- [14] A. María and P. Palacios, “Estudios de exploración geofísica realizados durante el 2015 , 2016 y 2017 en el noroeste de Piura,” 2022.
- [15] E. Perú, “No Title,” 2023. <https://electrotec.pe/blog/teluometro>
- [16] concepto, “capas del suelo.” <https://concepto.de/capas-del-suelo/>
- [17] J. Vallejos, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas Carrera de Electricidad UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL

- NORTE Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas Carrera de Electricidad,” 2024.
- [18] U. A. Einstein *et al.*, “Facultad De Ingeniería,” 2005.
- [19] IPI2win, “No Title IPI2win,” 2020.
- [20] N. Guanoquiza and R. Mauricio, “LATACUNGA- ECUADOR MARZO 2022”.
- [21] R. Céspedes Flores, “Universidad Andina Del Cusco,” p. 192, 2014.
- [22] D. J. Valencia Potosí, *Propuesta de un manual de procedimientos para el análisis y mejoramiento de los sistemas de puestas a tierra en puntos específicos del sistema eléctrico de emelnorte*. Ibarra-Ecuador, 2019.
- [23] F. de I. de la UNNE, “Ingeniería Geotécnica: estudiante enfoca investigación en el comportamiento de los suelos arcillosos del NEA.”
<https://medios.unne.edu.ar/2022/06/25/ingenieria-geotecnica-estudiante-enfoca-investigacion-en-el-comportamiento-de-los-suelos-arcillosos-del-nea/>
- [24] A. Chauvin, “Guía de la Medición de Tierra,” pp. 1–32, 2015, [Online].
Available: www.chauvin-arnoux.es
- [25] M. Escobar, A. Navas, C. Medina, J. Corrales, A. Tenjo, and L. Borrás, “Efecto de prácticas agroecológicas sobre características del suelo en un sistema de lechería especializada del trópico alto colombiano,” *Livest. Res. Rural Dev.*, vol. 32, no. 4, p. 23, 2020, [Online]. Available:
<http://www.lrrd.org/lrrd32/4/maria.es32058.html>
- [26] J. Del Real, A. García, B. Sulbarán, and E. Bandala, “Eliminación de la ciprofloxacina en aguas residuales domésticas tratadas empleando tierras

- diatomeas,” *Colección memorias los Congr. la Soc. Química México*, vol. 54, pp. 85–89, 2019.
- [27] J. M. M. A. T. Hender., “RESISTIVIDAD DEL TERRENO Y ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA,” 2012.
<https://www.slideserve.com/laquinta/resistividad-del-terreno-y-electrodos-de-puesta-a-tierra>
- [28] “No Title google Earth.” <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>
- [29] Agrobesser, “agrobesser,” 2020. <https://agrobesser.com/instrumentos-de-medicion/medidor-ph-multifuncional-para-suelo-4-en-1-luz-humedad-ph-temperatura-bateria-9v-sr300b-5394.html>
- [30] “con IPI2Win,” 2000, [Online]. Available:
https://www.academia.edu/6991704/IPI2Win_User_Manual
- [31] U. de LASALLE, “Ciencia Unisalle ETAP,” p. 28, 2015.
- [32] 2011 BRASIL, “No Title p ,” *Phys. Rev. E*, pp. 1–95, 2011, [Online]. Available:
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7130/1/LUZARDO-BUIATRIA-2017.pdf>

Anexos

Anexo 1. Resultados de resistividad del suelo arcilloso de la parroquia el sagrario.

punto 1 loma de guayabillas (0°20'39.2"N 78°06'13.8"W)					
Distancia "a"(m)	Dirección 1 (Ω m)	Dirección 2 (Ω m)	Dirección 3 (Ω m)	Dirección 4 (Ω m)	Promedio
1	66,5	69,4	64,3	67,8	67,00
2	69,1	66,4	68,5	64,3	67,08
3	79,1	75,8	80,1	77,4	78,10
4	90,4	87,9	84,3	89,7	88,08
5	97,3	96,8	95,3	98,4	96,95
6	98	99,5	96,7	98,2	98,10
pH	9				
punto 2 Arcángel (0°21'06.5"N 78°06'10.4"W)					
Distancia "a"(m)	Dirección 1 (Ω m)	Dirección 2 (Ω m)	Dirección 3 (Ω m)	Dirección 4 (Ω m)	Promedio
1	103	102	100,8	102	101,95
2	60,3	61,1	65,3	61,1	61,95
3	54,6	56,2	55,2	53,8	54,95
4	50,2	52,6	55,8	53,6	53,05
5	53,4	54,1	50,3	52,6	52,60
6	52,7	47,9	51,9	51,5	51,00
punto 3 Arcángel (0°21'24.5"N 78°06'24.1"W)					
Distancia "a"(m)	Dirección 1 (Ω m)	Dirección 2 (Ω m)	Dirección 3 (Ω m)	Dirección 4 (Ω m)	Promedio
1	107	105,2	103,4	102,2	104,45
2	62,5	61,1	65,3	61,1	62,50
3	54,9	56,2	55,2	53,8	55,03
4	54,7	52,6	55,8	53,6	54,18
5	54,7	54,1	50,3	52,6	52,93
6	51,5	47,9	52,7	51,5	50,90
punto 4 Arcángel (0°21'20.6"N 78°06'20.4"W)					
Distancia "a"(m)	Dirección 1 (Ω m)	Dirección 2 (Ω m)	Dirección 3 (Ω m)	Dirección 4 (Ω m)	Promedio
1	100,5	102	101,6	109,8	103,48
2	109,3	99,3	97,9	100,6	101,78
3	109,3	95,4	94,4	93,7	98,20
4	100,5	94,2	92,4	93,1	95,05
5	97,3	89,7	94,7	86,3	92,00
6	86,7	86,2	85,3	87,1	86,33
punto 5 Arcángel (0°21'21.9"N 78°06'30.7"W)					
Distancia "a"(m)	Dirección 1 (Ω m)	Dirección 2 (Ω m)	Dirección 3 (Ω m)	Dirección 4 (Ω m)	Promedio
1	99,9	100,5	102,3	108,3	102,75
2	103,4	99,5	98,4	100,2	100,38
3	95,5	93,7	94,8	96,2	95,05
4	92,8	89,1	93,2	90,4	91,38

5	89,1	87,6	87,1	86,4	87,55
6	88,1	86,1	87,3	82,9	86,10

Anexo 2. Resultados de resistividad del suelo humus de la parroquia el sagrario.

punto 1 loma de guayabillas (0°20'20.7"N 78°06'27.6"W)					
Distancia "a"(m)	Dirección 1 (Ω m)	Dirección 2 (Ω m)	Dirección 3 (Ω m)	Dirección 4 (Ω m)	Promedio
1	35,8	36,5	34,6	35,4	35,575
2	30,1	32,4	30,5	29,9	30,725
3	26,3	28,1	28,4	24,3	26,775
4	25,1	24,3	23,1	25,6	24,525
5	28,2	23,4	25,3	27,3	26,05
6	26,3	25,4	24,3	25,3	25,325
pH	8,3				
punto 2 loma de guayabillas (0°20'11.3"N 78°06'30.7"W)					
Distancia "a"(m)	Dirección 1 (Ω m)	Dirección 2 (Ω m)	Dirección 3 (Ω m)	Dirección 4 (Ω m)	Promedio
1	35,8	34,6	36,4	34,5	35,325
2	33,9	36,4	34,7	33,4	34,6
3	32	35,6	36,5	33,6	34,425
4	37,6	34,5	38,9	37,4	37,1
5	36,6	37,4	39,6	38,4	38
6	41,4	42,3	41,2	41,6	41,625
pH	8,1				
punto 3 parque de la familia (0°20'27.7"N 78°07'26.0"W)					
Distancia "a"(m)	Dirección 1 (Ω m)	Dirección 2 (Ω m)	Dirección 3 (Ω m)	Dirección 4 (Ω m)	Promedio
1	13,1	12,4	13,6	13,2	13,08
2	12,5	14,3	14,3	13,2	13,58
3	15	15,9	16,9	13	15,20
4	12,5	14,2	15,3	16,7	14,68
5	12,5	11,9	15	12,4	12,95
6	15	14,2	18,4	15,2	15,70
pH	7,8				
punto 4 parque de la familia (0°20'33.7"N 78°07'25.1"W)					
Distancia "a"(m)	Dirección 1 (Ω m)	Dirección 2 (Ω m)	Dirección 3 (Ω m)	Dirección 4 (Ω m)	Promedio
1	13,8	12,4	14,2	13,2	13,40
2	13,8	15,6	16,7	15,9	15,50
3	18,8	19,7	18,2	21,8	19,63
4	22,6	23,5	23,6	24,1	23,45
5	25,1	26,8	27,2	25,6	26,18
6	26,3	28,5	25,9	26	26,68
pH	8,4				
punto 5 UTN (0°21'32.1"N 78°06'44.2"W)					

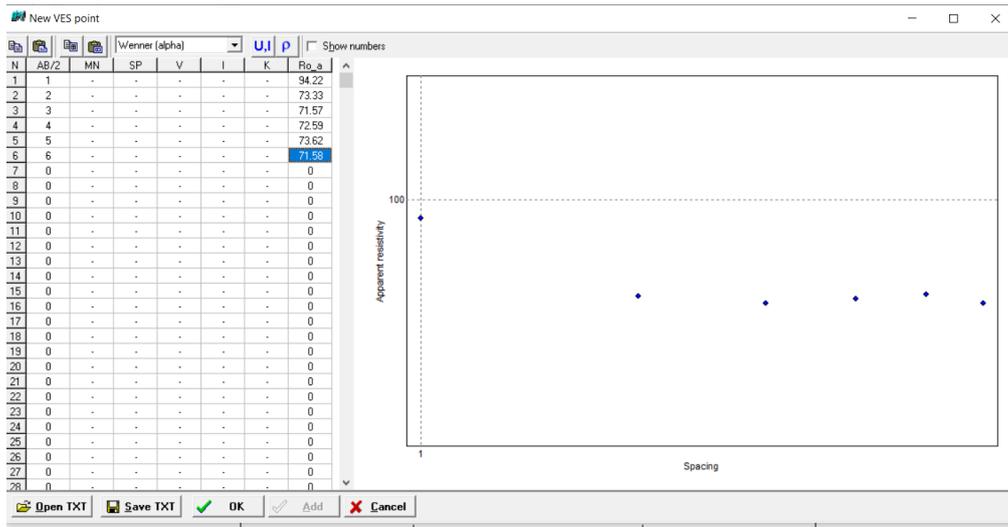
Distancia "a"(m)	Dirección 1 (Ω m)	Dirección 2 (Ω m)	Dirección 3 (Ω m)	Dirección 4 (Ω m)	Promedio
1	11,5	14,3	13,6	11,9	12,83
2	12,2	11,4	13,2	12,4	12,30
3	12,5	12,4	12,5	15,7	13,28
4	15,3	15,2	15,2	11,9	14,40
5	13,5	14,2	15,2	15,2	14,53
6	15,2	16,3	12,4	15,3	14,80
pH	8,3				
punto 6 rio tahuando (0°21'03.9"N 78°06'43.6"W)					
Distancia "a"(m)	Dirección 1 (Ω m)	Dirección 2 (Ω m)	Dirección 3 (Ω m)	Dirección 4 (Ω m)	Promedio
1	13,5	11,6	13,4	12,7	12,80
2	16,7	14,5	15,8	17,4	16,10
3	19,6	19,5	17,4	20,9	19,35
4	23,5	22,7	19,5	22,6	22,08
5	28,6	25,6	24,6	24,1	25,73
6	23,9	27,4	27,3	25,9	26,13
pH	7,8				

Anexo 3. Resultados de resistividad del suelo pedregoso de la parroquia el sagrario.

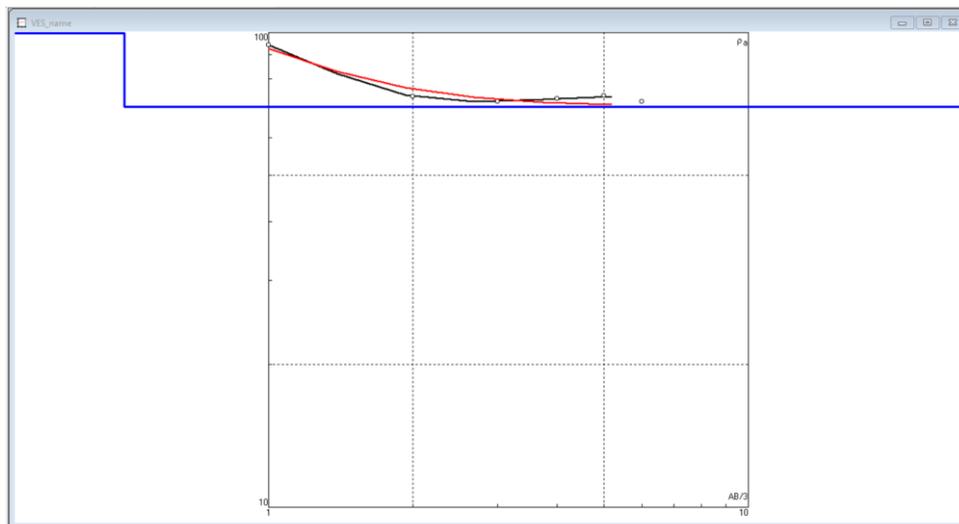
punto 1 Arcángel (0°20'51.0"N 78°06'10.1"W)					
Distancia "a"(m)	Dirección 1 (Ω m)	Dirección 2 (Ω m)	Dirección 3 (Ω m)	Dirección 4 (Ω m)	Promedio
1	720,4	784,3	740,3	785,3	757,575
2	740,5	825,5	804,4	848,2	804,65
3	796,4	895,3	867,2	902,4	865,325
4	838,5	956,3	947,2	885,3	906,825
5	890,4	1014,3	1098,3	974,2	994,3
6	979,4	1001	1264,2	1028,4	1068,25
pH	7,4				
punto 2 Arcángel (0°21'23.9"N 78°06'33.9"W)					
Distancia "a"(m)	Dirección 1 (Ω m)	Dirección 2 (Ω m)	Dirección 3 (Ω m)	Dirección 4 (Ω m)	Promedio
1	703,5	725,4	701,4	715,3	711,4
2	789,4	705,2	768,1	740,5	750,8
3	801,5	760,4	823,6	895,3	820,2
4	897,4	805,2	896,4	867,3	866,575
5	948,2	890,2	954,2	932,4	931,25
6	989,1	953,5	987,4	1000,2	982,55
pH	7,5				
punto 3 loma de guayabillas 0°20'11.1"N 78°06'22.6"W)					
Distancia "a"(m)	Dirección 1 (Ω m)	Dirección 2 (Ω m)	Dirección 3 (Ω m)	Dirección 4 (Ω m)	Promedio
1	580,4	576,4	583,5	587,3	581,9

2	620,4	603,2	630,4	658,3	628,075
3	689,5	678,3	696,5	726,3	697,65
4	740,3	703,5	740,7	789,5	743,5
5	820,4	750,5	795,2	823,2	797,325
6	890,4	798,5	834,3	867,2	847,6
pH	7,3				
punto 4 rio tahuando (0°21'09.4"N 78°06'44.0"W)					
Distancia "a"(m)	Dirección 1 (Ω m)	Dirección 2 (Ω m)	Dirección 3 (Ω m)	Dirección 4 (Ω m)	Promedio
1	680,5	670,4	666,4	598,3	653,90
2	680,6	698,2	664,3	700,6	685,93
3	774,8	756,7	698,6	689,3	729,85
4	789,3	867,3	678,3	776,2	777,78
5	867,8	998,5	804,6	830,2	875,28
6	932,4	1003,4	846,8	894,6	919,30
pH	7,8				
punto 5 rio tahuando (0°20'29.5"N 78°06'44.2"W)					
Distancia "a"(m)	Dirección 1 (Ω m)	Dirección 2 (Ω m)	Dirección 3 (Ω m)	Dirección 4 (Ω m)	Promedio
1	560,3	540,2	559,4	561,4	555,325
2	590,3	587,3	549,8	578,5	576,475
3	614,3	560,7	598,6	640,3	603,475
4	680,6	604,3	625,3	703,3	653,375
5	738,7	678,5	689,7	698,4	701,325
6	697,8	720,5	696,1	710,8	706,3
pH	7,2				

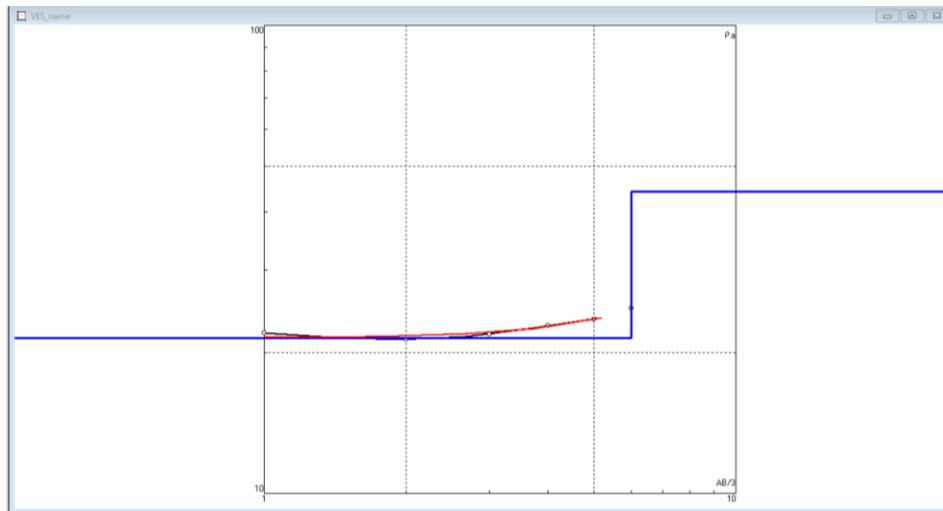
Anexo 4. Distribución de los puntos en el suelo arcilloso.



Anexo 5. Grafica del suelo arcilloso.



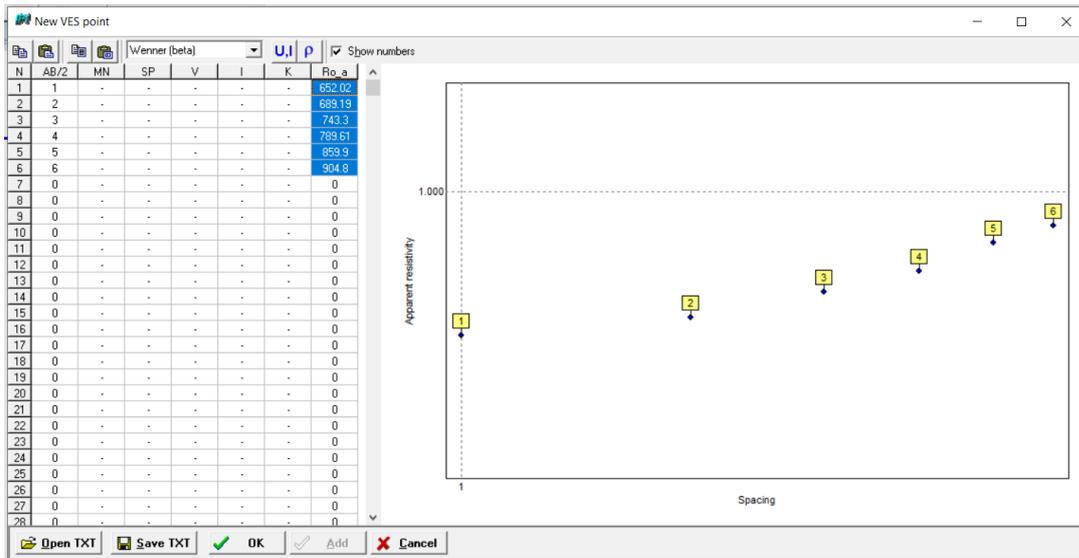
Anexo 8. Grafica del suelo humus.



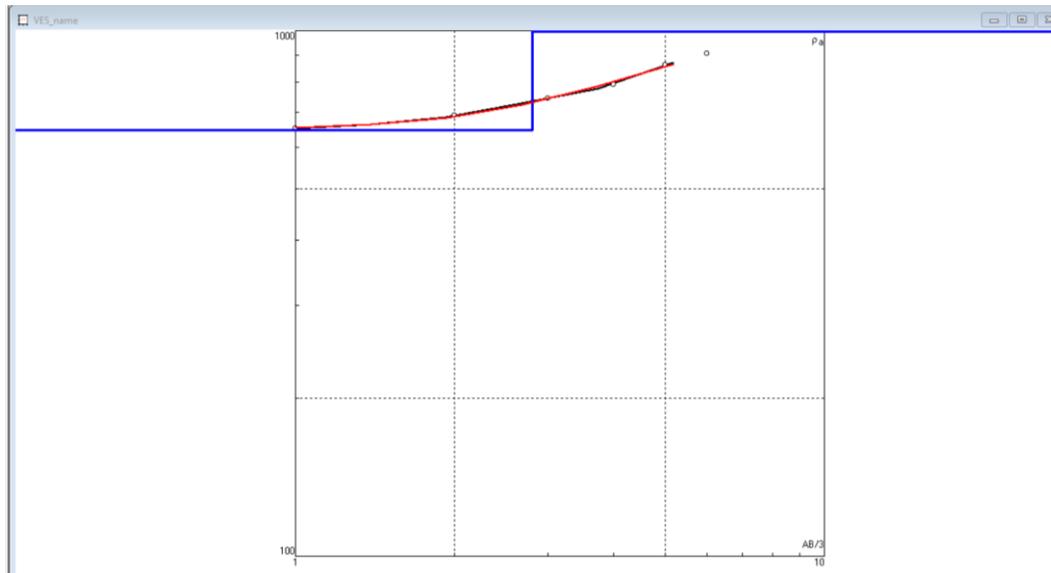
Anexo 9. Datos de las capas del suelo humus.

N	p	h	d	Alt
1	21.49	6	6	-6
2	44.11			

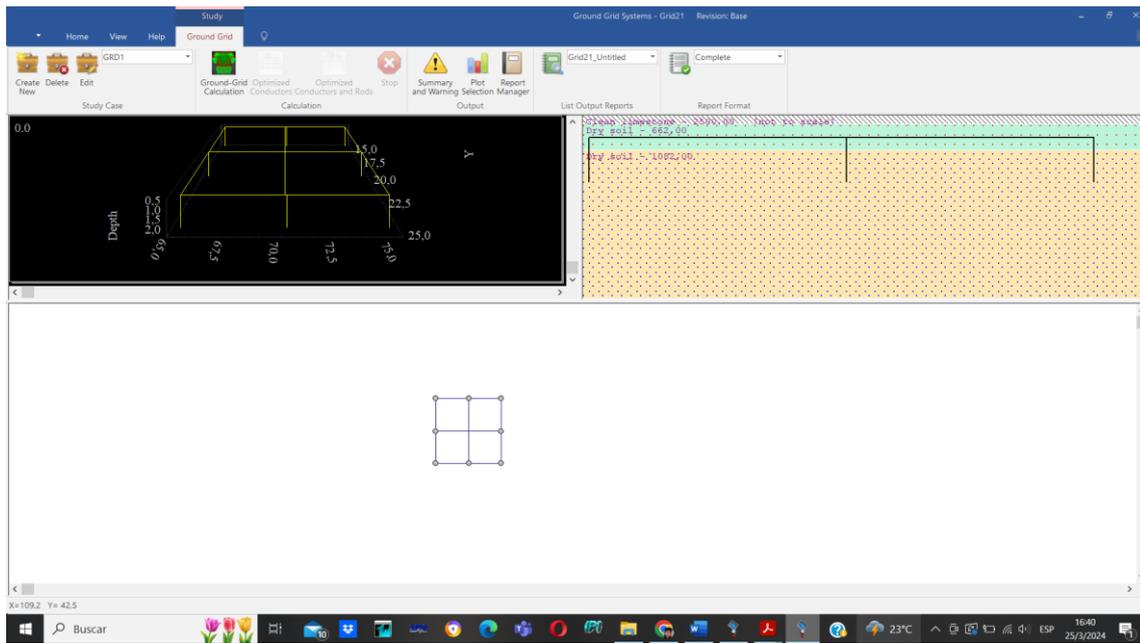
Anexo 10. Distribución de los puntos en el suelo pedregoso.



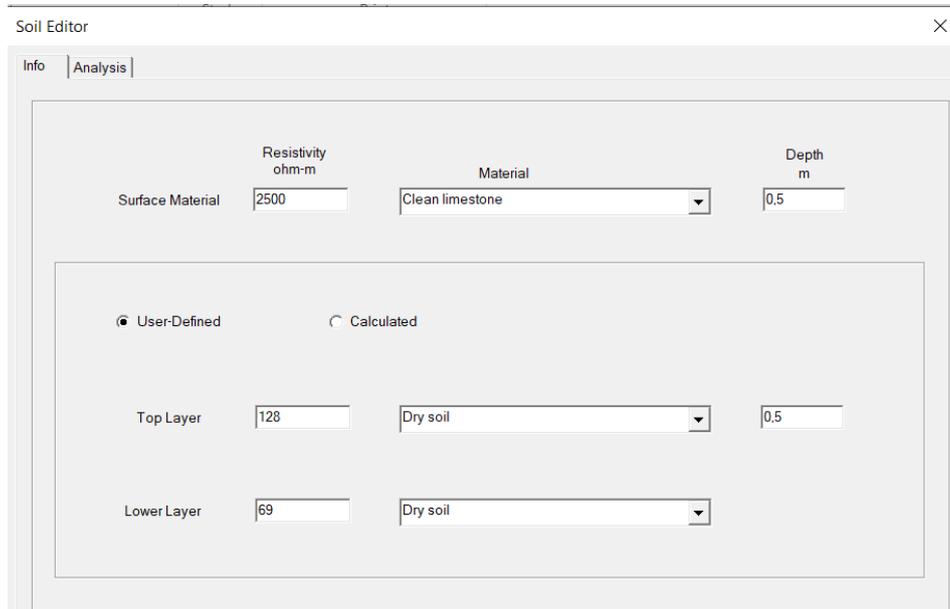
Anexo 11. Grafica del suelo pedregoso.



Anexo 14. Configuración de las varillas en un suelo pedregoso.



Anexo 15. Configuración en ETAP de las capas del suelo arcilloso.



Anexo 16. Configuración en ETAP de las capas del suelo humus.

The screenshot shows the 'Soil Editor' window with the 'Analysis' tab selected. The interface is divided into sections for defining soil layers. At the top, there are three columns: 'Resistivity ohm-m', 'Material', and 'Depth m'. The 'Surface Material' row has a resistivity of 2500, material 'Clean limestone', and a depth of 0.5. Below this, there are two radio buttons: 'User-Defined' (selected) and 'Calculated'. Under the 'User-Defined' section, there are two rows for 'Top Layer' and 'Lower Layer'. The 'Top Layer' has a resistivity of 21.41, material 'Dry soil', and a depth of 6. The 'Lower Layer' has a resistivity of 44.11 and material 'Dry soil'.

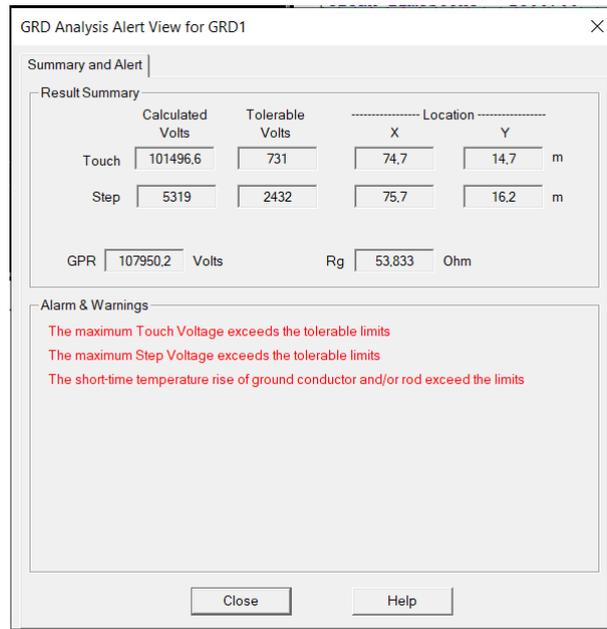
Layer	Resistivity ohm-m	Material	Depth m
Surface Material	2500	Clean limestone	0.5
Top Layer	21.41	Dry soil	6
Lower Layer	44.11	Dry soil	

Anexo 17. Configuración en ETAP de las capas del suelo pedregoso.

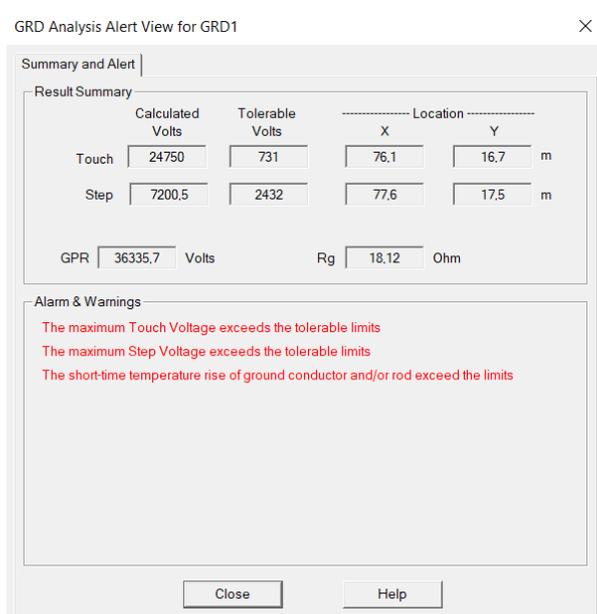
The screenshot shows the 'Soil Editor' window with the 'Analysis' tab selected. The interface is divided into sections for defining soil layers. At the top, there are three columns: 'Resistivity ohm-m', 'Material', and 'Depth m'. The 'Surface Material' row has a resistivity of 2500, material 'Clean limestone', and a depth of 0.5. Below this, there are two radio buttons: 'User-Defined' (selected) and 'Calculated'. Under the 'User-Defined' section, there are two rows for 'Top Layer' and 'Lower Layer'. The 'Top Layer' has a resistivity of 647, material 'Dry soil', and a depth of 2. The 'Lower Layer' has a resistivity of 1240 and material 'Dry soil'.

Layer	Resistivity ohm-m	Material	Depth m
Surface Material	2500	Clean limestone	0.5
Top Layer	647	Dry soil	2
Lower Layer	1240	Dry soil	

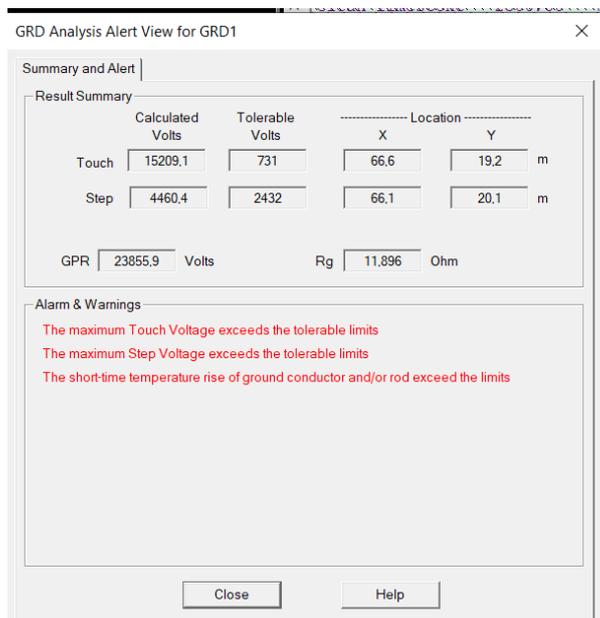
Anexo 18. configuración en ETAP de 1 electodos del suelo arcilloso.



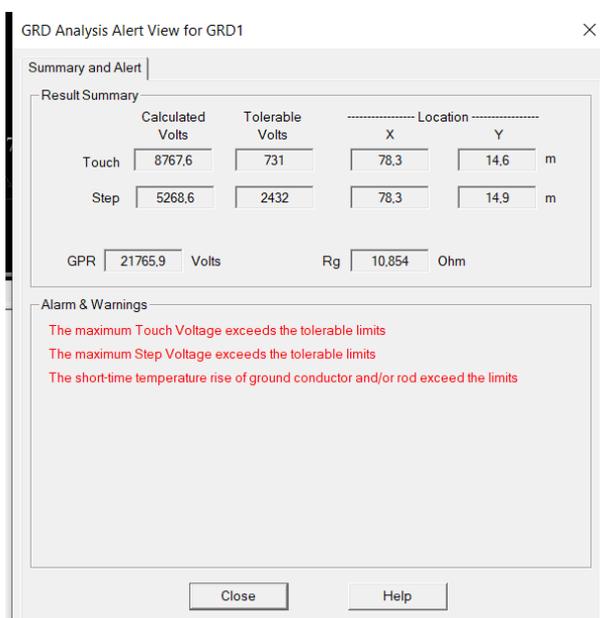
Anexo 19. configuración en ETAP de 2 electodos en paralelo del suelo arcilloso.



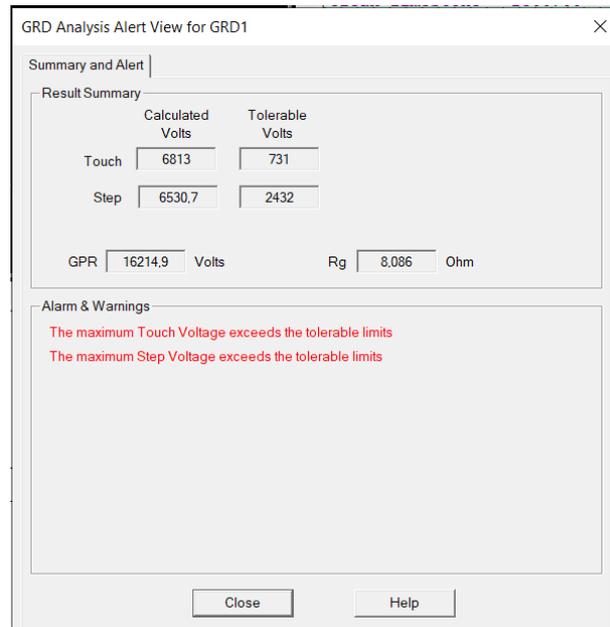
Anexo 20. configuración en ETAP de 3 electrodos en línea del suelo arcilloso.



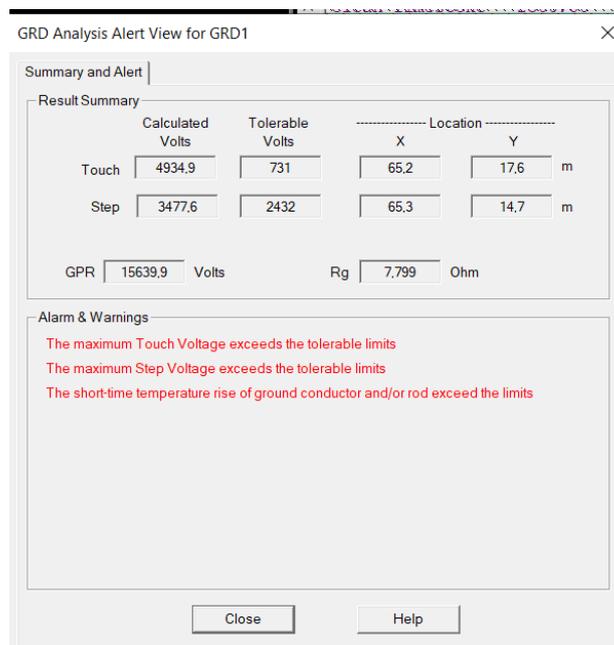
Anexo 21. configuración en ETAP de 3 electrodos en delta del suelo arcilloso.



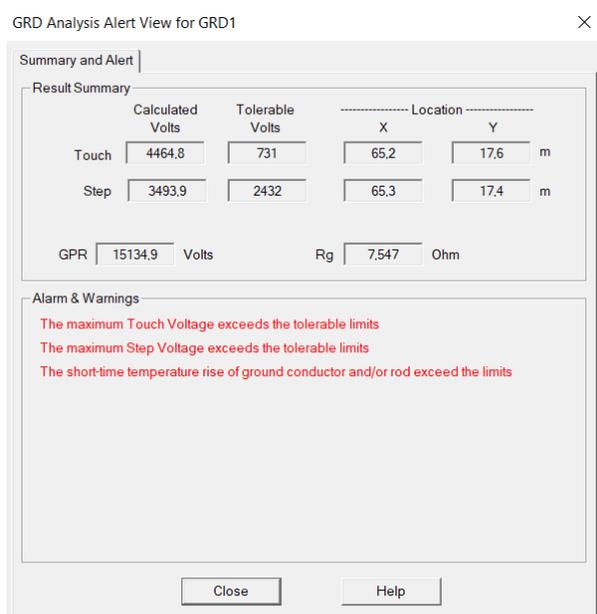
Anexo 22. configuración en ETAP de 4 electrodos en cuadro del suelo arcilloso.



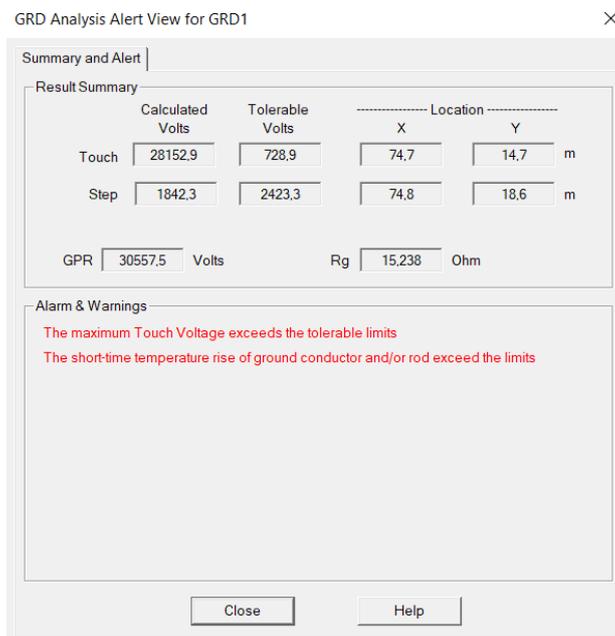
Anexo 23. configuración en ETAP de 8 electrodos en cuadro del suelo arcilloso.



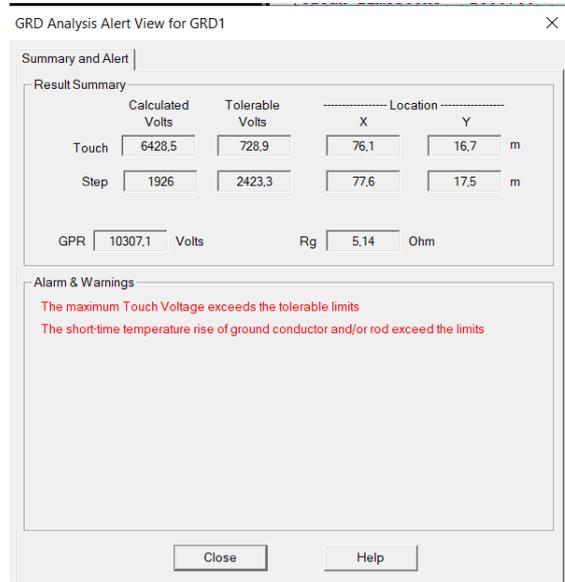
Anexo 24. configuración en ETAP de 8 electrodos en cuadro y 2 conductores del suelo arcilloso.



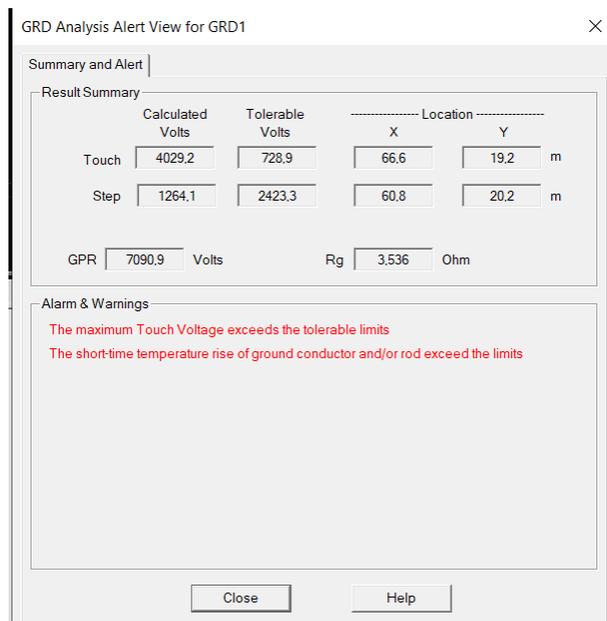
Anexo 25. configuración en ETAP de 1 electrodos del suelo humus.



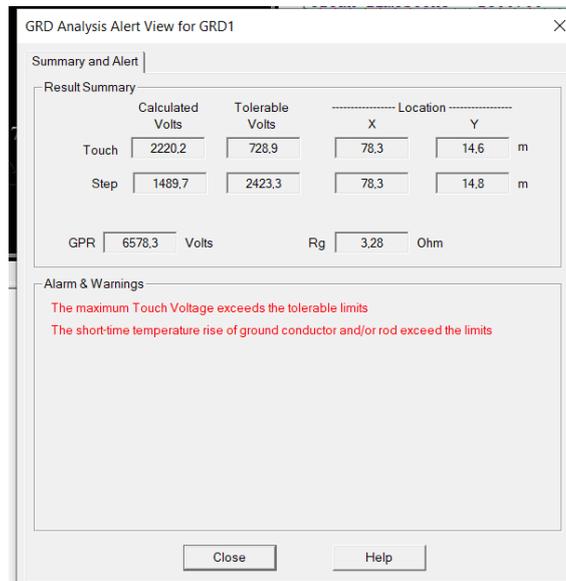
Anexo 26. configuración en ETAP de 2 electrodos en paralelo del suelo humus.



Anexo 27. configuración en ETAP de 3 electrodos en línea del suelo humus.



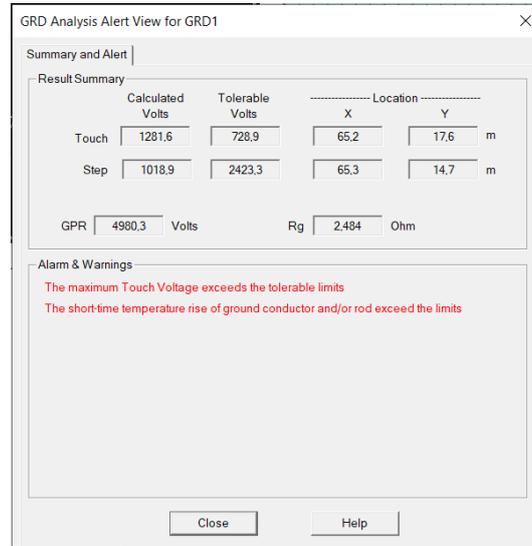
Anexo 28. configuración en ETAP de 3 electrodos en delta del suelo humus.



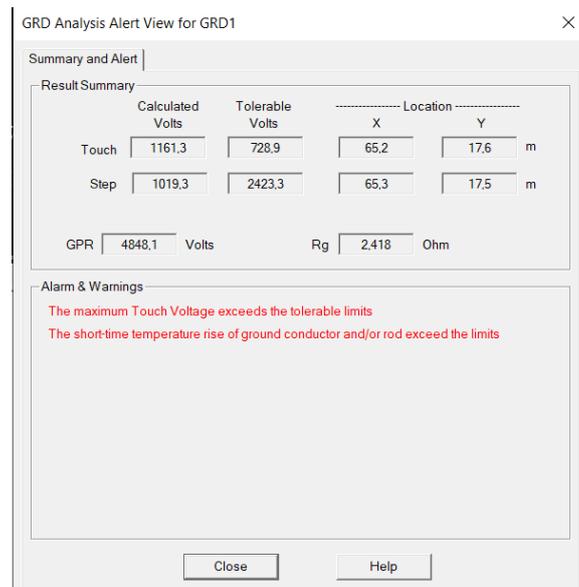
Anexo 29. configuración en ETAP de 4 electrodos en cuadro del suelo humus.



Anexo 30. configuración en ETAP de 8 electrodos en cuadro del suelo humus.



Anexo 31. configuración en ETAP de 8 electrodos en cuadro y 2 conductores del suelo humus.



Anexo 32. configuración en ETAP de 1 electrodos del suelo pedregoso.

GRD Analysis Alert View for GRD1

Summary and Alert

Result Summary

	Calculated Volts	Tolerable Volts	Location	
			X	Y
Touch	960242.6	741.6	74.7	14.7 m
Step	63990.4	2474.2	74.8	18.6 m

GPR 1052406 Volts Rg 524.813 Ohm

Alarm & Warnings

- The maximum Touch Voltage exceeds the tolerable limits
- The maximum Step Voltage exceeds the tolerable limits
- The short-time temperature rise of ground conductor and/or rod exceed the limits

Close Help

Anexo 33. configuración en ETAP de 2 electrodos en paralelo del suelo pedregoso.

GRD Analysis Alert View for GRD1

Summary and Alert

Result Summary

	Calculated Volts	Tolerable Volts	Location	
			X	Y
Touch	210484.3	741.6	76.1	16.7 m
Step	63978.3	2474.2	76.5	17.8 m

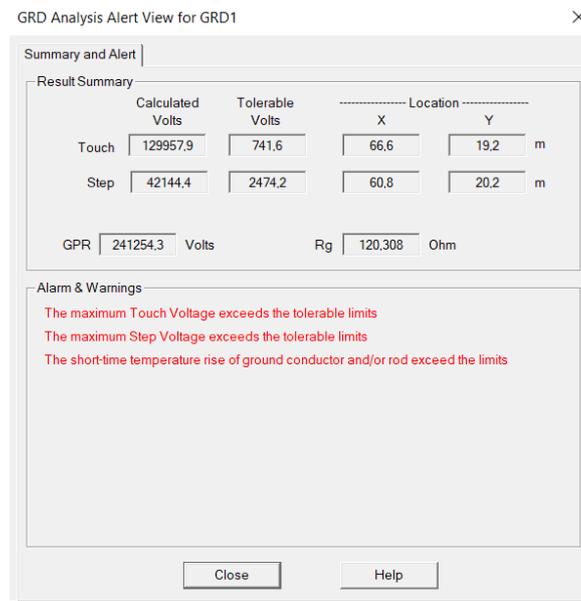
GPR 353167.5 Volts Rg 176.117 Ohm

Alarm & Warnings

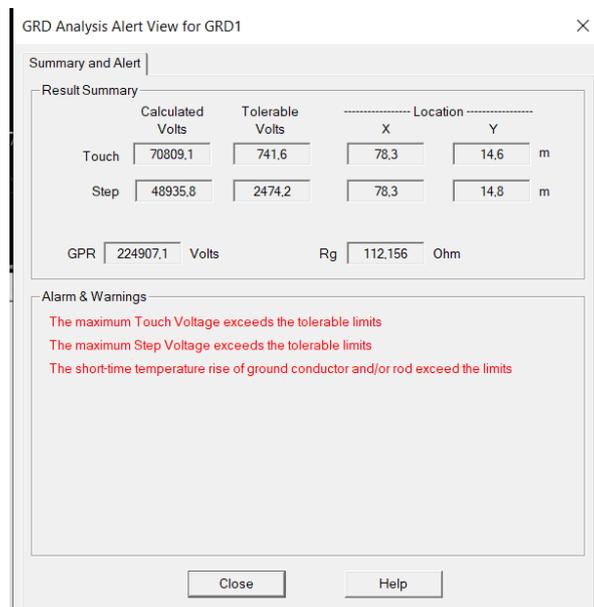
- The maximum Touch Voltage exceeds the tolerable limits
- The maximum Step Voltage exceeds the tolerable limits
- The short-time temperature rise of ground conductor and/or rod exceed the limits

Close Help

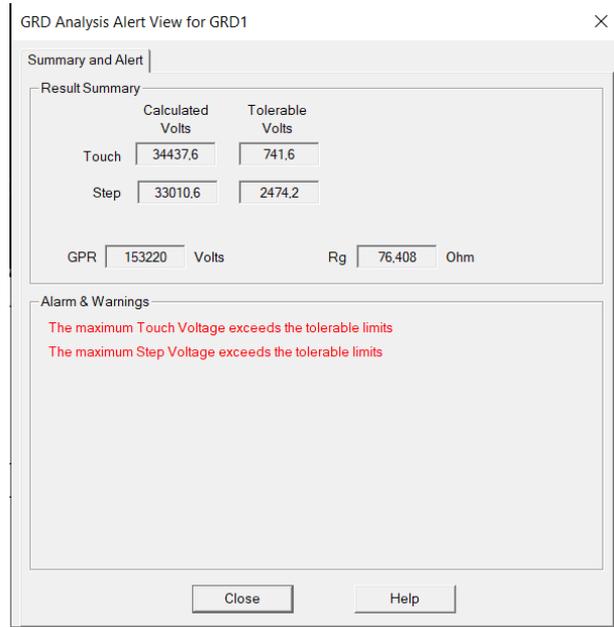
Anexo 34. configuración en ETAP de 3 electrodos en línea del suelo pedregoso.



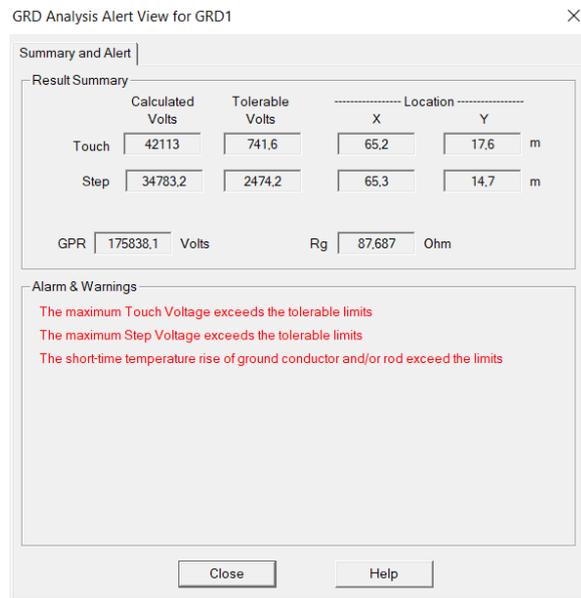
Anexo 35. configuración en ETAP de 3 electrodos en delta del suelo pedregoso.



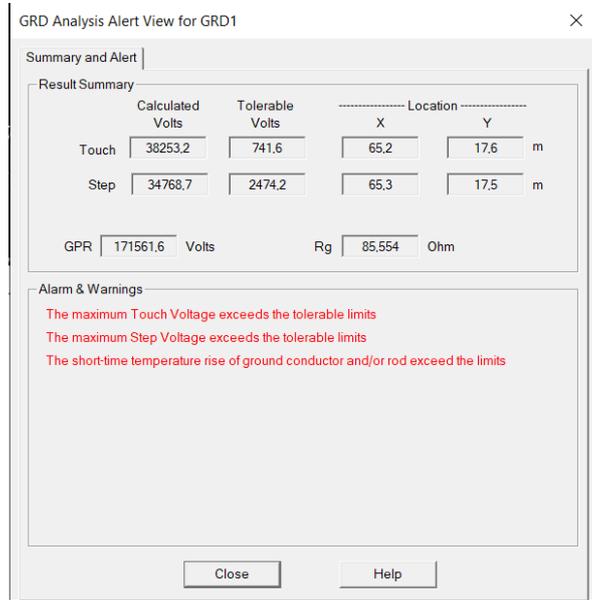
Anexo 36. configuración en ETAP de 4 electrodos en cuadro del suelo pedregoso.



Anexo 37. configuración en ETAP de 8 electrodos en cuadro del suelo pedregoso.



Anexo 38. configuración en ETAP de 8 electrodos en cuadro y 2 conductores del suelo pedregoso.



Anexo 39. Datos del ETAP para cada configuración en el suelo arcilloso.

Arcilloso		
	Resistencia a tierra en ohmios	Porcentaje de reducción de la resistencia de la malla
1	53,833	0
2	18,12	66,34
3	11,896	77,90
4	10,854	79,84
5	8,086	84,98
6	7,799	85,51
7	7,547	85,98

Anexo 40. Datos del ETAP para cada configuración en el suelo humus.

humus	
Resistencia a tierra en ohmios	Porcentaje de reducción de la resistencia de la malla
1	15,238
2	5,14
3	3,536
4	3,28
5	2,369
6	2,484
7	2,418

Anexo 41. Datos del ETAP para cada configuración en el suelo pedregoso.

pedregoso	
Resistencia a tierra en ohmios	Porcentaje de reducción de la resistencia de la malla
1	524,813
2	176,117
3	129,308
4	112,156
5	76,408
6	87,687
7	85,554

Anexo 42. medición de distancia entre picas



Anexo 43. Conexión de cables al telurómetro.



Anexo 44. calibración del telurómetro.



Anexo 45. Recolección de datos.



	<p>modelado en el software IPI2win, como la elección del método de inversión y la definición de la resolución espacial</p>																															
	<p>3.3 Realizar la modelización de los datos utilizando el software IPI2win para generar representaciones gráficas de la distribución de la resistividad en los diferentes tipos de suelos.</p>																															

Recursos y presupuesto

	<i>P. Unitario [USD]</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Total [USD]</i>
Gastos tesis			
Telurómetro	500.00	1	500.00
Impresiones Color	0.25	200	50.00
Impresiones B y N	0.02	300	6.00
internet	200.00	1	200.00
Transporte	3.00	50	150.00
Varios	90.00	1	90.00
Extras			
Gastos imprevistos	70.00	1	70.00
		total	1066.00