



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“SIMULACIÓN PARA PUESTAS A TIERRA A TRAVÉS DE
CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS, ENFOCADO A LOS SECTORES
RESIDENCIALES, COMERCIALES E INDUSTRIALES”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en
Sistemas Eléctricos de Potencia

AUTORES:

Herrera Guayaquil Andrés Sebastián
Ninasunta Guanoquiza Richard Mauricio

TUTOR:

Ing. Rommel Eusebio Suárez Vinueza MSc.

LATACUNGA- ECUADOR

MARZO 2022



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **HERRERA GUAYAQUIL ANDRÉS SEBASTIÁN Y NINASUNTA GUANOQUIZA RICHARD MAURICIO** declaramos ser autores del presente Proyecto de Investigación: “**SIMULACIÓN PARA PUESTAS A TIERRA A TRAVÉS DE CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS, ENFOCADO A LOS SECTORES RESIDENCIALES, COMERCIALES E INDUSTRIALES**”, siendo el **ING. ROMMEL EUSEBIO SUÁREZ VINUEZA MSc.** tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Andrés Sebastián Herrera Guayaquil
C.I. 050343753-5

Ninasunta Guanoquiza Richard Mauricio
C.I. 172343307-2



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“SIMULACIÓN PARA PUESTAS A TIERRA A TRAVÉS DE CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS, ENFOCADO A LOS SECTORES RESIDENCIALES, COMERCIALES E INDUSTRIALES”, de los postulantes **HERRERA GUAYAQUIL ANDRÉS SEBASTIÁN Y NINASUNTA GUANOQUIZA RICHARD MAURICIO**, de la carrera de **INGENIERÍA ELÉCTRICA**, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Marzo 2022

Tutor:

Ing. Rommel Eusebio Suárez Vinueza MSc.

CC: 180416535-3



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: **HERRERA GUAYAQUIL ANDRÉS SEBASTIÁN Y NINASUNTA GUANOQUIZA RICHARD MAURICIO** con el título de Proyecto de titulación: “**SIMULACIÓN PARA PUESTAS A TIERRA A TRAVÉS DE CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS, ENFOCADO A LOS SECTORES RESIDENCIALES, COMERCIALES E INDUSTRIALES**”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto de Investigación.

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

Latacunga, Marzo 2022

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Nombre: Ing. Wilian Guamán MSc.

CC: 060357895-6

Lector 2

Nombre: Ing. Franklin Vásquez MSc.

CC: 171043449-7

Lector 3

Nombre: Ing. Carlos Pacheco MSc.

CC: 050307290-2

CERTIFICACIÓN



Saquisilí, a 25 de marzo del 2022

CERTIFICACIÓN

Srs. Universidad Técnica de Cotopaxi

Presente

De mis consideraciones:

El abajo firmante Jefe de CESA en Cotopaxi, ante solicitud verbal de los Srs. Herrera Guayaquil Andrés Sebastián y Ninasunta Guanoquiza Richard Mauricio, estudiantes de vuestra Universidad, tengo a bien certificar lo siguiente:

Al inicio del lectivo se solicitó la apertura institucional para la realización de la Tesis **"SIMULACIÓN PARA PUESTAS A TIERRA A TRAVÉS DE CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS, ENFOCADO A LOS SECTORES RESIDENCIALES, COMERCIALES E INDUSTRIALES"**

Luego de un trabajo sistemático de investigación tanto de campo de laboratorio se ha logrado estructurar los criterios de análisis en cuanto a suelo, a partir de cromatogramas.

Su interpretación cuantitativa se lo realiza con valores obtenidos en laboratorios de suelo, los mismos que se ponen en relación con los cromatogramas y como producto se obtiene la idoneidad de las características de los suelos para el comportamiento de la fase a tierra.

Todo el trabajo realizado forma parte de un banco de datos que servirán para ir generando un proceso de perfeccionamiento para con el tiempo tener una técnica rápida y bajo costo para este tipo de análisis.

Por lo expuesto, la Central Ecuatoriana de servicios Agrícolas CESA certifica del trabajo de investigación realizada y de la viabilidad de este tipo de técnicas tanto para el campo agropecuario cuanto para la aplicación a el campo de la electricidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, autorizando a los señores antes mencionados, hacer uso del presente certificado en lo que convenga a sus lícitos intereses.

Atentamente.



Ing. Ricardo Suárez
JEFE DE CESA EN COTOPAXI



AMBATO
Militariego 361
y Los Incas
Teléfono: 2 840-613

AUSTRO
Av. Orobóez Lazo
5-55 Balc. Montecarlo
Tel: 034 084 855
093 996 289

DAULE
Recinto Flor de María
Km. 51 Vía Daule Balzar
Tel: 086 110 514

IBARRA
Oviedo 1118 y
Cabezas Dorje
06 260 9474

RIOBAMBA
Av. Lon Shyrin 30-16
Tel: 2612 329
Teléfono: 2612 349

SAQUISILÍ
9 de Octubre 1845
Tel: 2721-565 / 2721-191

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por darme vida, salud y más que todo la fortaleza y la bendición para culminar con este sueño tan anhelado en mi vida.

Agradezco a toda mi Familia, en especial a mis padres, a mi amada esposa y mi hija por ser ese pilar fundamental que me dio fuerza y me impulso durante todo este tiempo de estudio.

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme abierto sus puertas del saber, a todas las autoridades y docentes que con sus enseñanzas y conocimientos me formaron como profesional, además un agradecimiento especial a mi tutor el Ing. Rommel Suárez MSc. por el apoyo y la paciencia brindada para culminar en este proyecto.

Por último, agradezco a la Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas, con sede en Saquisilí – Cotopaxi, en colaboración con el Ing. Wilson Riera, por compartir sus conocimientos y consejos que ayudaron de gran manera para la realización de este proyecto, a todos y cada uno de mis compañeros que me apoyaron a cumplir este sueño tan anhelado.

Sebastián

AGRADECIMIENTO

Principalmente, agradecer a nuestro señor Dios, por haberme permitido llegar a estas instancias de la carrera y por haberme dado salud en medio de la emergencia sanitaria, brindarme fortaleza, convicción y valor para cumplir mis metas y objetivos.

Además, agradecer a mis padres que gracias a sus esfuerzos, sacrificios y consejos que me han brindado para culminar mis metas.

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi la cual me acogió para culminar mis estudios, a sus docentes por formarme como un profesional con una calidad humana.

Richard

DEDICATORIA

Este proyecto de tesis lo dedico con mucho cariño a mis padres José y Juanita por darme el valor y la fuerza para conseguir mi sueño, siendo mis confidentes, quienes me enseñaron el valor de la vida, que supieron guiarme y orientarme por el camino correcto, gracias porque siempre estuvieron dándome aliento, demostrándome que las cosas que más deseamos se las consigue con mucho esfuerzo, dedicación y sacrificio.

Con mucho amor a mi esposa Josselyn Molina por su paciencia y colaboración, por creer en mi capacidad, por brindarme su comprensión, amor y cariño en los momentos más difíciles.

A mi amada hija Jhuliana por ser el motor que me impulso a seguir adelante aun cuando me sentía derrotado, es mi inspiración para seguir superándome cada día más y así poder alcanzar un futuro mejor.

A mis hermanas/os, Amparito, María, Geovanna, Diego, Nacho, quienes siempre me han estado dando fuerzas, consejos y sobre todo por enseñarme a ser optimista, a no darme por vencido nunca y a vencer las dificultades que se me presenten.

A mis amigos que siempre confiaron en mí, y estuvieron compartiendo sus conocimientos, alegrías, tristezas, llantos y a todas aquellas personas que me acompañaron durante todos estos años de estudio que estuvieron a mi lado para cumplir este sueño tan anhelado.

Sebastián

DEDICATORIA

El trabajo duro, dedicación y humildad es lo más importante que la gente pudiera tener y permitírnos a alcanzar el éxito en la vida, lo más valioso que he aprendido de los seres queridos que me rodean.

Dedico este proyecto principalmente a Dios, por haberme dado salud y vida, permitirme haber llegado a este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres por sus emotivos consejos y sacrificios, a mis hermanos que me extendieron su apoyo en todo momento, a que cada día ponga más esfuerzo en mis estudios, gracias a todos por su comprensión y ser parte de mis logros obtenidos, a ser una persona humilde y decidida en cada etapa de mi vida.

A mi tutor de tesis, por el apoyo brindado para la culminación de este trabajo “Inmensamente Gracias”.

Richard

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
CERTIFICACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	viii
RESUMEN.....	xvi
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xviii
1. INFORMACION GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN.....	3
2.1. EL PROBLEMA	3
2.2. BENEFICIARIOS	3
2.3. JUSTIFICACION	3
2.4. OBJETIVOS.....	4
2.4.1. Objetivo general	4
2.4.2. Objetivos específicos.....	4
2.5. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS ..	5
3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA.....	6
3.1. ANTECEDENTES.....	6
3.2. MARCO REFERENCIAL	6
3.3. MARCO TEÓRICO.....	7
3.3.1. Sistema de Puesta a Tierra (SPT).....	7
3.3.2. Definición Eléctrica de Resistividad	8
3.4. RESISTIVIDAD DEL TERRENO.....	8
3.4.1. Factores que influyen en la resistividad del terreno	9

3.4.2.	Características eléctricas del terreno	11
3.4.3.	Importancia en la medición de la resistencia de puesta a tierra	11
3.4.4.	Método de medición de la resistividad aparente del suelo.....	11
3.4.4.1.	Método de Wenner	12
3.4.4.2.	Método de Schlumberger.....	13
3.4.5.	Consideraciones para la medición de la resistividad del suelo	14
3.6.	NORMAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA	27
3.8.	LA CROMATOGRAFÍA DEL SUELO	28
3.8.2.	Interpretación de un cromatograma ideal o modelo	29
3.8.5.	Actividad del pH.....	31
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
4.1.	METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	34
4.2.	TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	34
4.2.1.	Investigación Teórica.....	34
4.3.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	34
4.3.1.	Método Descriptivo	34
4.3.2.	Método Explicativo	35
4.4.	METODOLOGÍA DE DESARROLLO.....	35
4.4.1.	Obtención de datos de la empresa CESA	35
4.4.2.	Digitalización de los datos.....	36
4.4.3.	Caracterización del cromatograma	37
4.4.4.	Diseño de la malla de puesta a tierra	40
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	45
5.1.	RESULTADO DEL ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS ...	45
5.2.	DIMENSIONAMIENTO DEL CASO BASE PARA SPT EN UNA SUBESTACIÓN.....	45
5.6.	ANÁLISIS SOCIO ECONÓMICO	52

5.6.1. Factibilidad Técnica	52
5.7. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO.....	53
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
7. BIBLIOGRAFÍA.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Valores medios de la Resistividad.....	10
Tabla 3.2. Factor de decremento.....	16
Tabla 3.3. Factor de decremento de la norma IEEE Std-80.	17
Tabla 3.4. Sección y diámetro del conductor.	17
Tabla 3.5. Valores de referencia para SPT.	28
Tabla 3.6. Escala del pH.....	32
Tabla 3.7. Clasificación de suelos afectados por sales.	33
Tabla 4.1. Proceso de digitalización de datos de la empresa CESA.....	36
Tabla 4.2. Valores de los principales componentes químicos.....	37
Tabla 4.3. Datos del terreno.....	38
Tabla 4.4. Componentes químicos y rango pH.	38
Tabla 4.5. Determinación de la zona central del cromatograma.	38
Tabla 4.6. Zona interna con compuestos (minerales).....	38
Tabla 4.7. Zona intermedia y presencia de materia orgánica <i>MO</i>	39
Tabla 4.8. Interpretación del cromatograma.....	39
Tabla 4.9. Resistividad del terreno.	39
Tabla 4.10 Datos utilizados por el caso base.....	42
Tabla 5.1. Resultados de malla rectangular con varillas.	46
Tabla 5.2. Perfil de resistividad y modelado de terreno.	47
Tabla 5.3. Resultados de malla cuadrangular con varillas del caso comparación.....	49
Tabla 5.4. Validación del ejercicio base y comparación.	50
Tabla 5.5. Materiales caso base – Unión tipo soldadura.	51
Tabla 5.6. Proforma de materiales nuevos para caso base.	52
Tabla 5.9. Presupuesto del proyecto.	53
Tabla 8.1. Reporte de análisis de suelos digitalizado.	69
Tabla 8.2. Informe de análisis de suelos digitalizado.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Configuración geométrica del Método de Wenner	12
Figura 3.2. Configuración geométrica del Método de Schlumberguer	13
Figura 3.3. Patrón de colores para el análisis Cromatografía de suelos.	28
Figura 3.4. Cromatograma de un suelo ideal con integración.	29
Figura 3.5. Escala pH (Potencial de Hidrógeno).	33
Figura 4.1. Cromatograma sacado de los archivos de la empresa CESA.	35
Figura 4.2. Diagrama de flujos general.	40
Figura 4.3. Diagrama de bloques del procedimiento del diseño de un SPT IEEE Std. 80.	43
Figura 5.1. Orientaciones para las mediciones de la resistividad del terreno.	47
Figura 5.2. Caracterización del cromatograma.	48
Figura 8.1. Ubicación del proyecto, subestación “B”.	59
Figura 8.2. Cromatograma de estudio CRUZ 1.	59
Figura 8.3. Cromatograma de estudio CRUZ 1.	60
Figura 8.4. Cromatograma de estudio CRUZ 1.	60
Figura 8.5. Cromatograma de estudio CRUZ 1.	61
Figura 8.6. Cromatograma de estudio CRUZ 1.	61
Figura 8.7. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.	62
Figura 8.8. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.	62
Figura 8.9. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.	63
Figura 8.10. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.	63
Figura 8.11. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.	64
Figura 8.12. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.	64
Figura 8.13. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.	65
Figura 8.14. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.	65
Figura 8.15. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.	66
Figura 8.16. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.	66

Figura 8.17. Cromatograma de estudio CRUZ 2.....	67
Figura 8.18. Cromatograma de estudio CRUZ 2.....	67
Figura 8.19. Cromatograma de estudio CRUZ 2.....	68
Figura 8.20. Cromatograma de estudio CRUZ 2.....	68
Figura 8.21. Caracterización de la Cromatografía.....	71
Figura 8.22. Interfaz para el diseño de un SPT.	72
Figura 8.23. Fórmulas para calcular la resistencia de SPT en distintas configuraciones.	73
Figura 8.24. Medición del terreno y enterrado de electrodos (método de Wenner).....	74
Figura 8.25. Colocando el telurómetro en la opción 4 pole y resultado de la medición.	74

ÍNDICE DE ANEXOS

8.	ANEXO 1. Ubicación del proyecto.	59
8.	ANEXO 2. Cromatogramas de estudio.....	59
8.	ANEXO 3. Reporte de análisis de suelos digitalizados.	69
8.	ANEXO 4. Informe de análisis de suelos digitalizado.	70
8.	ANEXO 5. Software de caracterización de la cromatografía.	71
8.	ANEXO 6. Diseño de SPT por la norma IEEE STD. 80.	72
8.	ANEXO 7. Fórmulas para calcular la resistencia de puesta a tierra.	73
8.	ANEXO 8. Toma de datos de la resistencia medida con telurómetro.	74
8.	ANEXO 9. Manual de instalación del programa.	75
8.	ANEXO 10. Manual de uso del software.....	78



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “SIMULACIÓN PARA PUESTAS A TIERRA A TRAVÉS DE CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS, ENFOCADO A LOS SECTORES RESIDENCIALES, COMERCIALES E INDUSTRIALES”.

AUTORES:

Herrera Guayaquil Andrés Sebastián

Ninasunta Guanoquiza Richard Mauricio

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se lo ha desarrollado en la empresa CESA, en donde se elaboró una simulación para la caracterización de los suelos de la provincia de Cotopaxi. La finalidad del proyecto es facilitar la cuantificación de los datos obtenidos de cada área de estudio, a su vez permita la reducción de costos y tiempo laboral del estudio de la resistividad de cada tipo de terreno con respecto a un Sistema de Puesta a Tierra. El proyecto inició mediante un enfoque cualitativo, es decir, la investigación experimental del estado del suelo ha permitido conocer las condiciones naturales en las que se encuentran, esto ha permitido utilizar un método cuantitativo. Para el desarrollo del proyecto, se necesitó la utilización de datos cromatográficos de diversos suelos, que permitió distinguir un terreno con características químicas y orgánicas. Para el análisis se realizó una comparativa cromatográfica de un suelo madre con uno utilizado, observando ciertas diferencias en las zonas del cromatograma, obteniendo así características para poder aplicar el tratamiento adecuado para mejorar la resistividad del suelo que exigen las normativas vigentes, en el sector residencial, comercial e industrial, y teniendo en cuenta el diseño correcto de un SPT (Sistema de Puesta a Tierra) para brindar seguridad a las personas, protección en los equipos y previniendo así las pérdidas humanas y económicas. El software trabaja de manera dinámica ya que permite el cambio de variables y añadir información para la caracterización del suelo como 93,20 ppm de nitrógeno, 101,00 ppm de fósforo, 81,72 ppm de potasio, además cuenta con el cálculo para el modelado del terreno y con el diseño de un Sistema de Puesta a Tierra estandarizado por la norma vigente con el fin de que el diseñador pueda tomar la mejor decisión.

Palabras clave: Puesta a tierra, características geotécnicas, cromatográfica, resistividad.



TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLICATED SCIENCES

THEME: "SIMULATION FOR GROUNDING THROUGH GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS, FOCUSED ON RESIDENTIAL, COMMERCIAL AND INDUSTRIAL SECTORS".

AUTHORS:

Herrera Guayaquil Andrés Sebastián

Ninasunta Guanoquiza Richard Mauricio

ABSTRACT

This degree work has been developed at CESA company, where a simulation for soils characterization at Cotopaxi province was developed. The purpose of the project is to facilitate the quantification of obtained data from each study area, in turn allowing costs reduction and labor time of resistivity study for each type of land with respect to a Grounding System. The project started with a qualitative approach, that means experimental investigation of soil state has allowed to know natural conditions which they are found, this has led to use a quantitative method. For project development was necessary to use chromatographic data from different soils, which allowed to determine soils with chemical and organic characteristics. For analysis a chromatographic comparison of a mother soil with a used one was made, observing certain differences in chromatogram areas, obtaining characteristics that are able to apply appropriate treatment to improve required soil resistivity by current regulations, in residential, commercial and industrial sector, taking into account the correct design of a SPT (Grounding System) to provide safety for people, protection in equipment and thus preventing human and economic losses. The software works dynamically as it allows to change variables and add information for soil characterization such as 93,20 ppm of nitrogen, 101,00 ppm of phosphorus, 81,72 ppm of potassium, it also has the calculation for terrain modeling and the design of a grounding system standardized by current standard so that the designer can take the best decision.

Key words: *Grounding, geotechnical characteristics, chromatographic, resistivity.*



AVAL DE TRADUCCIÓN

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

La traducción del resumen del proyecto de investigación al idioma Inglés cuyo título versa: **“SIMULACIÓN PARA PUESTAS A TIERRA A TRAVÉS DE CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS, ENFOCADO A LOS SECTORES RESIDENCIALES, COMERCIALES E INDUSTRIALES”** presentado por **Herrera Guayaquil Andrés Sebastian** y **Ninasunta Guanoquiza Richard Mauricio**, estudiantes de la carrera de **Ingeniería Eléctrica** perteneciente a la **facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas** lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga, 25 de marzo del 2022.

Atentamente,



Firmado digitalmente por:
**EDISON MARCELO
PACHECO PRUNA**

Lic. Edison Marcelo Pacheco Pruna Mg.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 050261735-0

1. INFORMACION GENERAL

Título del Proyecto:

“SIMULACIÓN PARA PUESTAS A TIERRA A TRAVÉS DE CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS, ENFOCADO A LOS SECTORES RESIDENCIALES, COMERCIALES E INDUSTRIALES”.

Fecha de inicio:

Octubre 2021

Fecha de Finalización:

Marzo 2022

Lugar de ejecución:

Cotopaxi - Saquisilí

Facultad que auspicia

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

Carrera que auspicia:

Ingeniería Eléctrica.

Proyecto de investigación vinculado:

Invernadero inteligente con autonomía energética para cultivos de la familia de la Jícama.

Equipo de Trabajo

Tutor de titulación: Ing. Rommel Eusebio Suárez Vinueza MSc.

Fecha de Nacimiento: 20 de agosto de 1986

Estado Civil: Soltero

Nacionalidad: ecuatoriano

Cédula de ciudadanía: 180416535-3

Email: rommel.suarez@utc.edu.ec

Nivel primario: Escuela Liceo Juan Montalvo Ambato

Nivel secundario: Instituto Tecnológico Superior Rumiñahui Ambato

Nivel superior: Escuela Superior Politécnica del Chimborazo Riobamba

Coordinadores del proyecto

Postulante N° 1

Nombres y apellidos: Andrés Sebastián Herrera Guayaquil

Cédula de ciudadanía: 050343753-5

Fecha de Nacimiento: 22 de abril de 1995

Estado Civil: Soltero

Dirección: Latacunga - Cdla: Maldonado Toledo Calle Saquisilí 2-45 y Tanicuchi.

E-mail: andres.herrera5@utc.edu.ec

Postulante N° 2

Nombres y apellidos: Richard Mauricio Ninasunta Guanoquiza

Cédula de ciudadanía: 172343307-2

Fecha de Nacimiento: 19 de marzo de 1994

Estado Civil: Soltero

Dirección: Quito - Av. Quitumbe S50-301 y coronel Pedro Cocha.

E-mail: richard.ninasunta2@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

Calidad de Energía, Sistemas de control y Electrónica de Potencia.

Línea de investigación:

Energías alternativas y Renovables, Eficiencia energética y Protección Ambiental.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Control y optimización en el uso de la energía del sector Industrial, comercial y residencial.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. EL PROBLEMA

Situación problemática

Desde hace varios años la normativa técnica de instalaciones eléctricas tanto nacionales como internacionales establecen la obligación pertinente de diseñar infraestructuras con las respectivas protecciones eléctricas denominadas SPT, a fin de proteger tanto al ser humano como a los equipos eléctricos y electrónicos de corrientes transitorias producidas por fallas naturales o de aislamiento.

Hablando de la seguridad que se requiere en un proyecto eléctrico hay que considerar las condiciones en las que se encuentra el terreno ya sea para la parte residencial, comercial o industrial, por lo que es necesario que se requiera una excelente resistividad del suelo al momento de la descarga de tensión. Un mal cálculo en el sistema de puesta a tierra puede provocar un sin número de daños a los equipos eléctricos y personas cercanas al lugar de la descarga, donde existen daños por un mal mallado y puede presentar el caso de un rediseño en la infraestructura de las instalaciones eléctricas.

Formulación del Problema

¿Qué relación existe entre las características química orgánicas y la resistividad del suelo?

2.2. BENEFICIARIOS

2.2.1. Beneficiarios directos

Empresa Central Ecuatoriana de servicios agrícolas “CESA”, con 20 usuarios.

2.2.2. Beneficiarios indirectos

Los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con 200 usuarios.

2.3. JUSTIFICACION

El estudio cromatográfico del suelo nace de una necesidad de los agricultores para conocer la vitalidad del suelo, esto por razones de la excesiva utilización de pesticidas y abonos químicos que con el pasar del tiempo a degradado el suelo agrícola. En las instalaciones eléctricas la

seguridad de personas y equipos ante descargas atmosféricas y fallas eléctricas es de gran importancia a lo que se refiere las normativas en la parte de seguridad.

El análisis cromatográfico se emplea obteniendo una muestra del terreno, mediante procesos químicos y aplicándolo sobre una hoja de papel, se conoce la coloración y las zonas que componen el cromatograma, esto permitió diferenciar que suelos son ricos en minerales.

Comprender la importancia del comportamiento de la electricidad y sus aplicaciones, hoy en día, todas las personas del mundo participan en cualquier actividad relacionada con la electricidad, de cualquier forma, en casa y en el trabajo. De ahí emerge la importancia de proteger tanto a las personas como a los aparatos eléctricos. En los sistemas de puesta a tierra, dependiendo del tipo de instalación eléctrica, se provee una degradación en sus conexiones y elementos que lo componen, de la misma manera en la resistividad del suelo, con lo que este proyecto se enfocó al estudio del suelo para la durabilidad y confiabilidad de los SPT.

Por medio de una base de datos se dará a conocer el diseño con sus respectivas especificaciones técnicas y recomendaciones con las que debe contar el sistema de puesta a tierra, por tal motivo facilitará proyectos que requieran la implementación y visualización del mallado de puesta a tierra.

2.4. OBJETIVOS

2.4.1. Objetivo general

Desarrollar una simulación para sistemas de puesta a tierra a través de características geotécnicas enfocado a los sectores residenciales, comerciales e industriales en la empresa Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas en el periodo 2021.

2.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar información sobre puestas a tierra y caracterización de suelos existentes en la provincia de Cotopaxi.
- Determinar una base de datos en base a estudios de cromatogramas existentes en la empresa CESA.
- Caracterizar sistemas a puestas a tierra con el uso de normativas y software para la simulación de casos de estudio.
- Realizar un análisis de factibilidad técnico - económica de puestas a tierra.

2.5. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2.1. Sistema de tareas con relación a los objetivos planteados.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS	MEDIOS DE VERIFICACIÓN
Recopilar información sobre puestas a tierra y caracterización de suelos existentes en la provincia de Cotopaxi.	Investigación de fuentes bibliográficas y artículos científicos, con redacción del marco teórico de la investigación.	Procedimiento de cálculo para sistemas de puesta a tierra y caracterización del suelo a través de su composición.	<ul style="list-style-type: none"> • Sección 8.3.1 de este informe. • Sección 8.9 de este informe.
Determinar una base de datos en base a estudios de cromatogramas existentes en la empresa CESA.	Obtención de los datos históricos de la cromatografía del suelo realizados por la empresa CESA.	Digitalización de datos de los cromatogramas con su composición.	<ul style="list-style-type: none"> • Anexo 2. • Anexo 3.
Caracterizar sistemas a puestas a tierra con el uso de normativas y software para la simulación de casos de estudio	Mediciones con el telurómetro de sistemas de puestas a tierra, con la inserción de datos para la caracterización del cromatograma.	Modelado del terreno, diseño del sistema de puesta a tierra.	<ul style="list-style-type: none"> • Simulación.
Realizar un análisis de factibilidad técnico - económica de puestas a tierra.	Obtención de precios relacionados con la implementación y estudios de un sistema de puesta a tierra.	Sustentabilidad del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis TIR – VAN.

3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

3.1. ANTECEDENTES

El primer sistema de puesta a tierra estaba hecho de varillas de cobre puro, pero debido a su baja resistencia mecánica, se omiten casi de inmediato. Esto se resolvió utilizando una varilla de acero recubierta con un revestimiento de cobre, concepto patentado por la marca estadounidense Copperweld, que ha logrado resultados muy satisfactorios en términos de resistencia mecánica y conductividad, esto también permite optimizar recursos implementando un diseño de puesta a tierra con una vida útil a largo plazo que reduce el costo de modificación y daños en los componentes de los STP [1].

Un sistema de puesta a tierra eficaz suele incluir varillas de puesta a tierra, cables desnudos conectados entre sí en forma de cuadrículas o triangular, en estructura y partes metálicas de sistemas eléctricos. El diseño de sistemas terrestres seguros y la economía es difícil de integrar dentro de las instalaciones existentes que están expuestas a cambios que requieren revisión de comportamiento y seguridad del producto dentro del sistema para asegurar la confiabilidad de sus funciones [2].

El costo de diseñar, instalar y probar los STP nuevas o redimensionadas, aunque necesario, puede generar costos que llegan a ser bastante alto, porque el deterioro de los componentes y la degradación del suelo logran generar accidentes por fallos en los STP, los costos laborales y los costos legales relacionados pueden ser más altos [3].

El estudio del suelo hoy en día es de vital importancia a nivel mundial, en épocas anteriores los agricultores se preocuparon por el constante deterioro de sus tierras y el futuro de la agricultura, un claro ejemplo es el que nos muestra Jairo Restrepo Rivera y Sebastiao Pinheiro.

Para conocer el estado en el que se encuentra el suelo de desarrollo la técnica de la cromatografía por el alemán Rudolf Steiner, quien en 1924 les hizo ver a los agricultores, en ocho conferencias, la destrucción de la salud de los suelos en los que se utilizaron fertilizantes altamente solubles [4].

3.2. MARCO REFERENCIAL

El estudio del suelo hoy en día ha sido considerado de vital importancia, enfocado en el campo de la agricultura, conocer la vitalidad del suelo es fundamental para los agricultores, en el estudio del cromatograma nos muestra el estudio que se emplea mediante la cromatografía para

conocer la salud y destrucción del suelo. Empleando ciertas técnicas y la representación gráfica nos da a conocer mediante colores en los que se representara el estado del suelo.

Los colores el estudio de este análisis cromatográfico, que, mediante la representación en una hoja en blanco, se da una imagen en la que se diferencia 4 zonas, las que se va a diferenciar un color, siendo así que un color claro representara el buen estado y vitalidad del suelo, por lo contrario, un color oscuro representara el deterioro de degradación del terreno [5].

Un claro ejemplo de cómo un agricultor puede emplear este análisis como muy pocos recursos, esto beneficiaría no solo al agricultor, también en que métodos puede emplear para la conservación y fortalecimiento del suelo, pero así mismo da soluciones para el uso de fertilizantes industriales, los mismos que se encargan de la destrucción del suelo mismo.

Además, se muestran resultados que se lograron con la aplicación de la cromatografía, presentando una sección con múltiples comparaciones cromatográficas, lo cual servirá de apoyo para que poco a poco, con la habilidad que se vaya adquiriendo con los cromas, se conviertan en una herramienta de referencia técnica para el mejor entendimiento de cada situación a que se enfrenta en el medio rural y se comprometa a lo más necesitado del medio rural.

Dentro de la rama de la Electricidad que compite hoy en día los sistemas de puesta a tierra son fundamentales, es así como se puede encontrar variedad de revistas, libros y artículos científicos referente a los Sistemas de Puesta a Tierra, y esto genera una complejidad al momento de que se realiza un estudio pertinente, ya que interviene la composición del suelo, la química, las matemáticas, etc. En el Ecuador los STP no son muy controlados, pero son obligados a implementarse hasta en sistemas simples. Un claro ejemplo es en sector residencial en el cual se debe implementar una varilla a tierra partiendo del medidor que suministra la empresa distribuidora, en lo que se refiere al sector industrial se exige un mallado, cabe destacar que en las industrias al implementar un sistema a tierra ante sobretensiones no debe superar los 5 ohm, estos parámetros lo establece la norma [6].

3.3. MARCO TEÓRICO

3.3.1. Sistema de Puesta a Tierra (SPT)

Las instalaciones de puesta a tierra estarán constituidas por uno o varios electrodos enterrados y por las líneas de tierra que conecten dichos electrodos a los elementos que deban quedar puestos a tierra. La mayoría de los SPT, necesitan estar aterrizados ya que por motivo esta

práctica en función del mismo tiempo a continuado y ha evolucionado progresivamente, de tal manera que tales conexiones a tierra se encuentren en casi todos los puntos del sistema eléctrico. En el transcurso de varios años, es notorio el visible y rápido desarrollo de los sistemas eléctricos, de tal manera que debemos estar conscientes en que debe existir un modelamiento en los SPT, motivos por el cual se ha incrementado el interés, del tema propiamente descrito, teniendo esto en cuenta que el mismo tiempo que la actividad de diseño ha logrado ser muy significativo debido que las nuevas normas requieran diseños confiables y eficaces [7].

3.3.2. Definición Eléctrica de Resistividad

La Intensidad de corriente o densidad de corriente “ J ” por unidad de una sección transversal recta, en un conductor depende de la intensidad del campo eléctrico “ E ” y de la naturaleza del mismo conductor, que muestra la ecuación (3.1). Se define las características de resistividad del conductor, expresado por la letra griega “ ρ ”, es la relación entre la intensidad del campo eléctrico y la intensidad del campo eléctrico.

$$\rho = \frac{E}{J} \quad (3.1)$$

Donde:

ρ Resistividad del terreno [$\Omega * m$].

E Intensidad de campo eléctrico [V/m].

J Densidad de corriente [A/m^2].

La resistividad de un material conductor es la intensidad del campo eléctrico por unidad de densidad de corriente, cuanto mayor sea la resistividad, mayor será la intensidad del campo eléctrico de ese material, necesaria para establecer una densidad de corriente dada, o bien, tanto menor será la intensidad de corriente para una intensidad de campo eléctrico determinada.

3.4. RESISTIVIDAD DEL TERRENO

La resistividad del suelo que tiene como característica que posee para conducir el flujo de corriente, también conocida como la resistencia específica que posee el terreno. Obteniendo la resistividad aparente del suelo que tiene como interés el estudio de una puesta a tierra, y se denominara como “ ρ_a ”, de la ecuación (3.2). Pues el factor más importante de la resistencia a

tierra no es el electrodo en sí, sino la resistividad del suelo mismo, por ello es requisito conocerla para calcular y diseñar la puesta a tierra [8].

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3.2)$$

Donde:

ρ Resistividad del terreno [$\Omega * m$].

L Longitud del trayecto del conductor [m].

A Área transversal de la trayectoria [m^2].

La resistividad del suelo es determinada una contante proporcional de la resistencia en un sistema de puesta a tierra a lo largo de la longitud del conductor y el área transversal. La resistividad variara en los diferentes tipos de terrenos.

La resistividad describe el comportamiento de los materiales frente al paso de la corriente eléctrica, es decir, ofrece una idea de lo buen o mal conductor que es un elemento. De igual manera ocurre con el suelo, terreno con valores altos de resistividad son malos conductores, mientras que terrenos con valores bajos de resistividad son buenos conductores, lo mejor para los sistemas de puesta a tierra es que el terreno tenga una baja resistividad para que facilite la circulación de corriente. El símbolo de la resistividad es la letra griega rho (ρ) y se lo expresa en [$\Omega*m$].

3.4.1. Factores que influyen en la resistividad del terreno

- La resistividad del suelo es un parámetro que varía respecto a:
- Tipo de suelo
- Porcentaje de humedad
- Concentración de sales
- Temperatura
- Compactación de suelo
- Estratificación del suelo
- Granulometría

Los diferentes suelos contienen naturalmente diferentes cantidades de electrolitos, es el mismo electrolito el que conduce la electricidad de manera eficiente, por lo que, para mejorar la

conductividad, es conveniente aumentar el agua. Cuanto mayor es la humedad, más se seca el suelo y menos resistente. Sin embargo, el aumento de la humedad del suelo de los tipos de superficie de granito, arenisca y caliza reduce la resistencia al más mínimo elemento o simplemente no la afecta. La temperatura no es un factor que afecta mayormente a la resistividad del suelo; se considera un cambio relevante cuando la temperatura llega a niveles inferiores de 0° C, por lo tanto, la humedad en el terreno se congela. La sal también es un factor que afecta la resistividad del suelo. Cuanto mayor sea la cantidad de sal o electrolitos que se contengan en ese suelo, la resistividad será más baja.

El tipo del suelo, granulometría, estratificación y compactación del suelo son propiedades propias de la formación geológica del terreno y, aunque no permanecen constantes su variación depende de cambios a largo plazo, por lo tanto, puede asumirse como constantes a la hora de diseñar un S.P.T. por el contrario, el porcentaje de humedad, temperatura y concentración de sales son factores variables que se debe considerar.

Para la composición de un terreno las características a veces no son tan conocidas y se dificulta la clasificación del tipo de suelo al que ese pertenecería como muestra la Tabla 3.1, es por tal razón que estudios de la materia la han resumido teniendo en cuenta la calidad del terreno, en la tabla siguiente que se puede visualizar con los valores medio que satisfagan el proceso de la clasificación.

Tabla 3.1. Valores medios de la Resistividad.

Naturaleza del Terreno	Valor medio de la Resistividad (Ohm)
Terrenos cultivables, fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terraplenes cultivables poco fértiles, terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3000

Para proteger al terreno de los efectos del clima, es recomendable usar una capa de material superficial, para retardar la evaporación de la humedad y así, evitar el aumento de la resistividad del suelo. También cubrir la superficie de un material con alta resistividad es muy útil para reducir las corrientes de choque [6].

3.4.2. Características eléctricas del terreno

Las propiedades del suelo y el contenido de agua son más estables en las capas más profundas, por lo que se recomienda que los electrodos se instalen lo más profundo posible en el suelo y alcancen las capas más húmedas. De la misma forma, deben instalarse donde la temperatura sea más estable.

Se debe tener en cuenta que los suelos de baja resistividad suelen ser más corrosivos debido a la presencia de sales y agua. Esto puede destruir los electrodos y sus conexiones. Por tanto, se recomienda realizar una inspección anual del sistema de puesta a tierra y medir su resistencia. Aunque esto varía según la época o la estación del año, se debe investigar un aumento $> 20\%$ en la resistencia de la tierra y tomar acciones correctivas para reducir el valor [7].

3.4.3. Importancia en la medición de la resistencia de puesta a tierra

La medición de la resistividad del terreno es de gran importancia para predecir los siguientes propósitos:

- Estimación de la resistencia de puesta a tierra de la estructura o sistema.
- Estimación de gradientes de potencial, incluyendo tensiones de paso y de contacto.
- Identifique la necesidad de un nuevo sistema de puesta a tierra.
- Comprobar si hay cambios en el sistema de puesta a tierra actual. Se verifica la posibilidad o no de incorporar nuevos equipos o utilizar el mismo sistema de puesta a tierra para protección contra descargas atmosféricas y otros.
- Diseño de sistemas de protección.

Conocer la resistencia de tierra es esencial para decidir un diseño de tierra para equipos nuevos que puedan satisfacer las necesidades de resistencia de tierra [5].

3.4.4. Método de medición de la resistividad aparente del suelo

Apreciaciones establecidas en la clasificación del suelo conducen a valores aproximados de la resistividad, por lo tanto, es necesario la toma de mediciones directamente en el lugar donde quedará ubicada la puesta a tierra. Las técnicas para la medición de la resistividad del suelo son las mismas ya sea cualquiera el propósito de medición. La interpretación de datos puede variar considerablemente, donde se encuentran los suelos con resistividad no uniformes.

Las mediciones de resistividad deben ser realizadas para determinar si hay alguna variación de resistividad con la profundidad. Los métodos más utilizados para la medición de la resistividad del suelo que han sido aplicados principalmente son los métodos de Wenner y Schlumberger. Con el objetivo de medir la resistividad del suelo, es necesario pasar corriente a través de esta, la técnica básica más empleada requiere el uso de por lo menos cuatro electrodos insertados en el terreno, utilizados para inyectar una corriente continua en la superficie del terreno entre dos electrodos y realizar la medición de la tensión que aparece entre los electrodos de potencial colocados en el interior de la zona de inyección de la corriente [2].

La separación d , de los electrodos dependerá de la amplitud de la zona en la cual se desea medir la resistividad. Si el subsuelo, es uniforme, la resistividad medida es independiente de la separación de los electrodos utilizados en el mismo.

3.4.4.1. Método de Wenner

El método de Wenner generalmente es la técnica más utilizada, este método de desarrollado por Frank Wenner. En este tipo de arreglo la configuración de los electrodos permanece geoméricamente semejante a sí mismo. Los electrodos de corriente se denotan como E_1 y HE , y los de potencial como E_2 y S . Los electrodos de potencial son colocados entre los electrodos de corriente a distancias iguales.

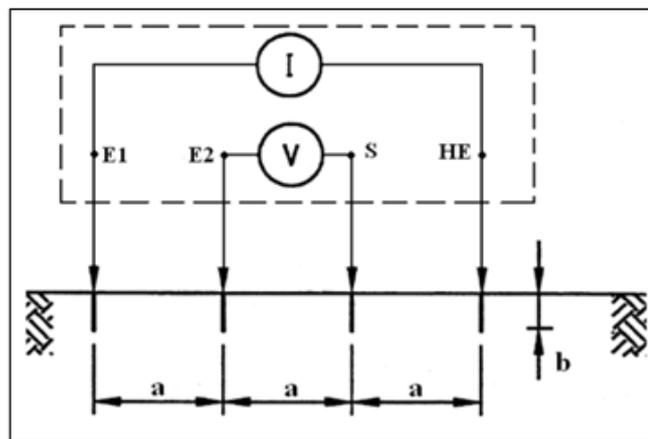


Figura 3.1. Configuración geométrica del Método de Wenner [8].

Las herramientas que se utilizan para la medición directa proporcionan mediciones en ohmios. De lo contrario, se calcula utilizando la ley de Ohm y se aplica con la ecuación (3.3), para encontrar la resistividad.

$$\rho = 2\pi aR \quad (3.3)$$

Donde:

ρ Resistividad del terreno [$\Omega \cdot m$].

a Distancia entre los electrodos adyacentes en metros [m].

R Resistencia medida del suelo o relación [V/I].

En el método de Wenner, la distancia entre los electrodos aumenta gradualmente mientras que el punto central es fijo. El volumen del suelo estudiado corresponde a un hemisferio con un radio igual a la distancia entre los electrodos.

Básicamente, cuanto mayor es la distancia entre los electrodos de corriente, mayor es la profundidad de penetración de la corriente, pero menor es la densidad. Por otro lado, aumentar la distancia entre los electrodos de potencia hace que la medición de la resistividad aparente de diferentes capas del suelo sea más representativa y confiable.

3.4.4.2. Método de Schlumberger

El método de Schlumberger es una versión modificada del método de Wenner; este método nos da una mejor sensibilidad para pruebas a mayores distancias. Su nombre proviene del científico Conrad Schlumberger quien fue el que propuso la geometría de arreglo. En el arreglo de Schlumberger una de las distancias, de los dos pares de 7 electrodos, es mucho mayor con respecto a la otra, ya que se busca hacer despreciable la distancia entre los electrodos de potencial en comparación con la de los electrodos de corriente.

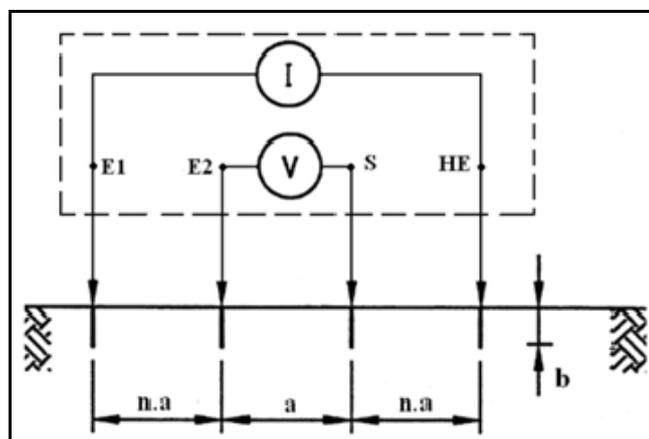


Figura 3.2. Configuración geométrica del Método de Schlumberger [11].

Según el arreglo de Wenner, por conveniencia, los electrodos de corriente están representados por E_1 y HE , y los electrodos de potencia que están representados por E_2 y S .

El método de medición de campo consiste en desconectar progresivamente el electrodo de corriente y fijar el electrodo de potencial alrededor de un punto fijo de la rejilla, el valor de la resistividad del suelo se calcula aplicando la ecuación (3.4). La profundidad para estudiar la resistividad aparente del suelo se determina como la mitad de la distancia entre los electrodos de corriente.

$$\rho = 2\pi R(n + 1) * na \quad (3.4)$$

Donde:

ρ Resistividad del terreno [$\Omega * m$].

na Distancia entre los electrodos E_1 y E_2 o HE y S .

R Resistencia medida del suelo o relación [V/I].

3.4.5. Consideraciones para la medición de la resistividad del suelo

Se presentan puntos a tomarse en cuenta para realizar adecuadamente las mediciones de resistividad del suelo:

- Las mediciones se las efectuaran en los que el terreno se presente seco, teniendo la situación más desfavorable en la conexión a tierra.
- Los conductores, conectores y extremos exteriores de los electrodos auxiliares del equipo de medición, deben estar en buen estado.
- En el caso de realizar las mediciones en áreas donde se encuentren enterrados objetos metálicos, se realizará mediciones ortogonales, para poder así eliminar la influencia de estos objetos en la medición.
- Si en caso de que el terreno este muy seco, es muy recomendable humedecer los electrodos, esencialmente el electrodo de corriente, para obtener un buen contacto entre el electrodo auxiliar y el terreno.
- Durante la toma de medidas, el ruido excesivo puede interferir con la medición debido a la gran longitud de los cables de los electrodos de prueba, el voltaje de interferencia debe estar dentro de la tolerancia del equipo de medición, de no ser así podría utilizar la

técnica de trenzar los cables que van hasta los electrodos de prueba, ya que estos pueden cancelar los voltajes de modo común entre los dos conductores.

- Hay que tomar en cuenta que, si hay cables de distribución de energía eléctrica, dichos cables paralelos a la línea de medición causan interferencia en las mediciones, en caso de existir cables de distribución se debe hacer perpendiculares a la línea de medición.
- Instruir al personal para la realización de las pruebas y acoger las medidas de seguridad necesarias [9].

3.4.6. Modelo de terreno uniforme

Este modelo se lo puede usar cuando exista una variación moderada de la resistividad aparente del terreno, obteniendo un resultado preciso. De otra manera, si se tiene una ligera variación en las mediciones de la resistividad aparente, es complejo desarrollar un modelo de terreno uniforme con resultados exactos.

La resistividad aproximada uniforme del terreno, como se muestra en la ecuación (3.5), se la puede obtener tomando las medidas aritméticas de datos de la resistividad aparente medida.

$$\rho_a(av_1) = \frac{pa(a) + pa(2) + pa(3) + \dots + pa(n)}{n} \quad (3.5)$$

Donde:

$pa(n)$ son los datos medidos de resistividad ap. [$\Omega * m$].

n es el número total de mediciones.

3.5.DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Para el diseño eficaz de un sistema de puesta a tierra es de gran importancia poseer el conocimiento de los diferentes parámetros que afectan su desempeño como la disposición y espaciamiento de los conductores de la malla, el número de varillas, la ubicación y la longitud, entre varios más.

Un SPT normalmente incluye conductores de cobre desnudo que pueden estar enterrados a una distancia entre los 0,3 y 0,5 m, con un espaciamiento entre los 3 a 7 m; en conexiones de cruce los conductores deben estar unidos entre sí, y en cuanto a varillas de tierra se pueden colocar en las esquinas de la malla y en puntos de unión a lo largo del perímetro.

3.5.1. Área de estudio

El estudio de resistividad del terreno se la describe en el apartado 5.1, en donde se determinará el perfil de resistividad y el modelo de terreno.

3.5.2. Corriente de diseño

Es la consideración de la corriente de cortocircuito I_{cc} , en función del factor de decremento, ya que el mismo puede variar en función del tiempo de descarga, como en la ecuación (3.6). La corriente de diseño se la obtiene de la siguiente manera:

$$I_D = I_{cc} * D_c \quad (3.6)$$

Donde:

I_D Corriente de diseño [A].

I_{cc} Corriente de cortocircuito [A].

D_c Factor de decremento.

El valor de la corriente máxima de falla I_{cc} , viene determinado por un estudio de cortocircuito previo realizado, en donde corresponde a la corriente simétrica que se pueda presentar. El factor de decremento D_c , se lo elegirá de acuerdo con el tiempo de la descarga de la falla.

Para la selección del factor de decremento en el caso de estudio se ocupará la Tabla 3.2, con un tiempo de descarga de 0,5 s y un D_c de 1.

Tabla 3.2. Factor de decremento.

Tiempo de descarga	Dc
0,8	1,65
0,5	1
0,25	1,1
0,1	1,25

El factor de decremento D_f , que se encuentra en la Tabla 3.3, es utilizado para incluir en el resultado del componente D_c , este determinara el valor eficaz de la onda de corriente simétrica para una duración de falla t_f de 0,50 s, teniendo en cuenta el valor de la componente D_c inicial.

Tabla 3.3. Factor de decremento de la norma IEEE Std-80.

Duración de la falla, t_f		Factor de decremento, D_f			
Segundos	Ciclos de 60 Hz	X/R = 10	X/R = 20	X/R = 30	X/R = 40
0,00833	0,5	1,576	1,648	1,675	1,688
0,05	3	1,232	1,378	1,462	1,515
0,10	6	1,125	1,232	1,316	1,378
0,20	12	1,064	1,125	1,181	1,232
0,30	18	1,043	1,085	1,125	1,163
0,40	24	1,033	1,064	1,095	1,125
0,50	30	1,026	1,052	1,077	1,101
0,75	45	1,018	1,035	1,052	1,068
1,00	60	1,013	1,026	1,039	1,052

3.5.3. Sección y diámetro del conductor

En la sección y diámetro del conductor d_c , se lo puede calcular dependiendo la normativa y de las condiciones de donde se la ubicara. Se utilizará los datos de la Tabla 3.4, con un diámetro de $9,27 \text{ mm}$, tomada como una referencia para el conductor que se ocupará en el diseño de la malla.

Tabla 3.4. Sección y diámetro del conductor.

MCM	Área (mm^2)	Diámetro (mm)	MCM	Área (mm^2)	Diámetro (mm)
2/0	67,44	9,27	700	354,095	21,25
3/0	85,03	10,40	750	380,031	22,00
4/0	107,22	11,68	800	405,366	22,72
250	126,677	12,70	900	456,037	24,10
300	152,612	13,91	100	506,708	25,40
350	177,348	15,03	1250	633,384	28,40
400	202,783	16,06	1500	760,061	31,11
450	228,018	17,04	1750	836,738	33,60
500	253,354	17,96	2000	1013,415	35,92
600	304,025	19,67			

a) Sección del conductor

Para la sección del conductor, se utilizará la ecuación (3.7), se la empleará dependiendo de los parámetros que se considere.

$$S_c = \frac{I_{cc}max}{\sqrt{\frac{\log\left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1\right)}{33 - t}}} * 0.0005067 \quad (3.7)$$

Donde:

S_c Sección del conductor [mm^2].

I_{cc} Corriente de cortocircuito [A].

T_m Temperatura máxima [$^{\circ}C$].

T_a Temperatura ambiente [$^{\circ}C$].

t Tiempo de descarga [s].

La temperatura máxima de las uniones del mallado puede ser de tipo empernado 250 $^{\circ}C$ o de tipo soldado 450 $^{\circ}C$, con una temperatura ambiente del suelo de 40 $^{\circ}C$.

b) Diámetro del conductor

Para el diámetro del conductor, el resultado obtenido se lo deberá comparar con la Tabla 3.4, según el análisis se escogerá el calibre del conductor y en el caso de considerar la sección del conductor en mm^2 .

$$D_c = \sqrt{\frac{4 * S_c}{\pi}} \quad (3.8)$$

Donde:

D_c Diámetro del conductor [mm^2].

S_c Sección del conductor [mm^2].

3.5.4. Tensión de paso y toque

Al tener determinado el factor de corrección debido a la capa superficial del material aislante, se puede obtener las tensiones de paso y toque máximos para el mallado de tierra, para las personas de 50 kg y de 70 kg, se utilizará (3.9) y (3.11). La selección del “ t_s ”, se basa en el tiempo estimado, para el despeje de falla a tierra. La tensión de paso y toque máximas dependen del peso de la persona [10].

c) Tensión de paso

Peso de una persona de 50 kg

$$E_s = (1000 + 6 * C_s * \rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (3.9)$$

Donde:

E_s Tensión de paso [V].

C_s Factor de reducción superficial.

ρ_s Resistividad superficial [$\Omega * m$].

t_s Tiempo de descarga [s].

Peso de una persona de 70 kg

$$E_s = (1000 + 6 * C_s * \rho_s) * \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (3.10)$$

Donde:

E_s Tensión de paso [V].

C_s Factor de reducción superficial.

ρ_s Resistividad superficial [$\Omega * m$].

t_s Tiempo de descarga [s].

d) Tensión toque

Peso de una persona de 50 kg

$$E_t = (1000 + 1.5 * C_s * \rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (3.11)$$

Donde:

E_t Tensión de toque [V].

C_s Factor de reducción superficial.

ρ_s Resistividad superficial [$\Omega * m$].

t_s Tiempo de descarga [s].

Peso de una persona de 70 kg

$$E_t = (1000 + 1.5 * C_s * \rho_s) * \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (3.12)$$

Donde:

E_t Tensión de toque [V].

C_s Factor de reducción superficial.

ρ_s Resistividad superficial [$\Omega * m$].

t_s Tiempo de descarga [s].

3.5.5. Factor de reducción superficial

Para considerar el efecto que produce la presencia del material superficial, se utilizara (3.13), el cálculo del factor de reducción superficial C_s , va a depender de la resistividad del material superficial y además del suelo de donde se va a realizar el diseño de malla [11].

$$C_s = 1 - \frac{0.09 * \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 * h_s + 0,09} \quad (3.13)$$

Donde:

C_s Factor de reducción superficial.

ρ Resistividad [$\Omega * m$].

ρ_s Resistividad superficial [$\Omega * m$].

h_s Espesor de capa [m].

El caso más frecuente, es en donde se tiene grava como material superficial, en donde este presenta una resistividad superficial ρ_s , de 3000 Ωm , con un espesor de capa h_s , de 0,1 m hasta 0,3 m.

3.5.6. Geometría de la malla

Esta geometría de malla va a depender del lugar en donde se la va a construir, así como las dimensiones mínimas que deberá tener esta superficie, en función de las distancias de seguridad

que están determinadas en la coordinación de aislamiento y de las longitudes de las estructuras y de los equipos que se dispongan dentro del mismo.

Las dimensiones para el diseño se las obtiene mediante la consideración del espacio en que será utilizado los equipos y de las distancias de seguridad que sebera cumplir según los reglamentos.

Para calcular el área de construcción se deberá de tener en cuenta la forma del mallado en que se va a realizar, además se considera de tipo cuadrado, rectangular y en L.

e) Longitud interna del conductor

Dependerá de la forma y de la separación entre los conductores de la malla se utilizará (3.14), dependiendo de los parámetros a utilizar.

$$L_C = N * L_X + M * L_Y \quad (3.14)$$

Donde:

L_C Longitud interna del conductor [m].

L_x Longitud de conductor en x [m].

L_y Longitud de conductor en y [m].

f) Longitud total del conductor a enterrarse

Sumatoria de la longitud interna del conductor más el número de varillas multiplicado por la longitud como en (3.15).

$$L_T = L_C + N_V L_V \quad (3.15)$$

Donde:

L_C Longitud total del conductor enterrado [m].

N_V Numero de varillas.

L_V Longitud de varillas [m].

3.5.7. Resistencia de la malla

En una malla el valor precedente de la resistencia al paso de la corriente deberá ser el mínimo, por lo que es de importancia obtener la resistencia de diseño de malla que es determinado mediante (3.16), en donde se podrá saber si se encuentra dentro de los parámetros requeridos.

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \quad (3.16)$$

Donde

R_g Resistencia del SPT [Ω].

ρ Resistividad del terreno [$\Omega * m$].

L_T Longitud total de conductores enterrados [m].

h Profundidad de la malla a tierra [m].

3.5.7.1. Ecuación de Dwight

Un SPT de baja resistencia es de gran valor para satisfacer los requisitos de alimentadores de sistemas de empresas del servicio público, en donde el paso de retorno de falla es a través del terreno, para el cálculo de esta resistencia se utilizará (3.17). La resistencia cuanto menor sea del sistema de puesta a tierra más adecuado se logrará cumplir estos requisitos. Las instalaciones con un nivel menor de corriente de fallas a tierra no requieren de un valor tan bajo de resistencia como los grandes sistemas con niveles superiores de corriente.

Los sistemas con resistencia de tierra inferiores a 1 ohm se pueden hallar mediante el uso de electrodos individuales conectados entre sí. Esta resistencia tan baja solo es necesario para grandes subestaciones, líneas de transmisión o estaciones generadoras. Las resistencias de 1 a 5 ohms se las encuentra generalmente para subestaciones, edificios y grandes instalaciones comerciales. El valor de 25 ohms tal como indica la NEC, se aplica a máxima resistencia para un solo electrodo que consiste en una barra, placa o tubería; no debe interpretarse en sentido de que estos 25 ohms sea un valor satisfactorio de resistencia para un SPT [12].

El cálculo se ha simplificado de gran forma que las fórmulas desarrolladas en Dwight y presentadas en el ANEXO 7.

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{aL}{a} - 1 \right) \quad (3.17)$$

Donde

ρ Resistividad del terreno [$\Omega * m$].

L Longitud de varilla [m].

a Radio de varilla [m].

3.5.8. Corriente de malla

En la corriente de malla para obtenerla se deberá tener en cuenta que la corriente que se usará sea la de cortocircuito monofásico para el lado del transformador conectado en configuración delta, ya que en la configuración de tipo estrella aterrizado constituye una fuente local de corriente y no contribuye al incremento de potencial de la tierra, ya que se tiene (3.18) para el cálculo del valor máximo de la corriente de falla a tierra que circulara por el mallado hasta la tierra [13].

$$I_G = I_f * S_f * D_f * C_P \quad (3.18)$$

Donde

I_G Corriente máxima de malla [A].

I_g Valor eficaz de corriente simétrica en la malla [A].

D_f Factor de decremento.

C_P Factor de crecimiento.

El factor de crecimiento C_P , por lo general será considerado con el valor de 1, dado que el mallado de puesta a tierra se construya teniendo muy en cuenta la capacidad total sin considerar a futuro aumentos de carga ni de alimentadores.

3.5.9. Elevación del potencial de tierra (G_{PR})

Para la elevación del potencial se determina mediante (3.19), ya que el potencial máximo eléctrico que un electrodo de tierra, sistema o malla puede llegar a alcanzar con respecto a un punto de tierra distante para ser el potencial de tierra remoto [14].

$$G_{PR} = I_G * R_G \quad (3.19)$$

Donde:

G_{PR} Elevación del potencial de tierra [V].

I_G Corriente máxima de malla [A].

R_g Resistencia del SPT (Ω).

3.5.10. Tensiones reales de diseño de la malla

La tensión de toque en la malla es la diferencia de potencial que se produce en un centro de la retícula de la esquina de la malla de puesta a tierra. Las tensiones de diseño reales E_s y E_m deberán ser menores que las tensiones E_p y E_t . La ecuación que nos permite conseguir el valor de esta tensión viene dada por la expresión (3.20).

$$E_m = \frac{K_i * K_m * \rho * I_G}{L_M} \quad (3.20)$$

Donde:

E_m Tensión máxima de malla [V].

K_i Factor de corrección para la geometría de malla.

K_m Factor de espaciamiento para la tensión de contacto

ρ Resistividad del terreno [$\Omega * m$].

I_G Corriente máxima de malla [A].

L_M Longitud efectiva enterrada [m].

Para la tensión real de paso se utilizará la ecuación (3.21), es la que se representa entre un punto del exterior de la esquina de la red y uno que se encuentra a una distancia de 1m fuera de la misma, es recomendable que la tensión máxima de paso sea comparada con la tensión de paso calculada ya que en caso de que se obtenga un valor mayor, se recomienda extender la capa del material con alta resistividad hacia afuera de la cerca.

$$E_s = \frac{\rho * I_G * K_s * K_i}{L_S} \quad (3.21)$$

Datos:

E_s Tensión real de paso [V].

ρ Resistividad del terreno [$\Omega \cdot m$].

I_G Corriente máxima de malla [A].

K_s Factor de espaciamento para la tensión de paso.

K_i Factor de corrección para la geometría de malla.

L_s Longitud efectiva del conductor para tensión de paso [m].

3.5.11. Coeficientes Geométricos

Para determinar los coeficientes geométricos se debe tener en cuenta algunos parámetros como son: tamaño de la malla, espaciamento entre conductores, diámetro del conductor, entre otros.

g) Coeficiente K_m

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left[\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \left(\frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right] \quad (3.22)$$

Datos:

K_m Factor de espaciamento para la tensión de contacto.

K_{ii} Factor de ponderación correctivo, para efectos de conductores internos.

K_h Factor de ponderación correctivo, para efectos de profundidad de la malla.

d Diámetro del conductor de la malla [m].

h Profundidad de la malla [m].

n Número efectivo de conductores paralelos de una malla.

h) Coeficiente K_{ii}

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}} \quad (3.23)$$

Datos:

K_{ii} Factor de ponderación correctivo, para efectos de conductores internos.

n Número efectivo de conductores paralelos de una malla.

i) Coeficiente K_h

$$K_h = \sqrt{h + 1} \quad (3.24)$$

Datos:

K_h Factor de ponderación correctivo, para efectos de profundidad de la malla.

h Profundidad de la malla [m].

j) Coeficiente K_i

$$K_i = 0.644 + 0.148 * n \quad (3.25)$$

Datos:

K_i Factor de corrección para la geometría de malla.

n Número efectivo de conductores paralelos de una malla.

k) Coeficiente K_s

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] \quad (3.26)$$

Datos:

K_s Factor de espaciamiento para la tensión de paso.

h Profundidad de la malla [m].

D Distancia entre conductores de la malla [m].

n Número efectivo de conductores paralelos de una malla.

El coeficiente K_{ii} , cuando el diseño tiene varillas en las esquinas se toma el valor de 1, que se establece con (3.23) y cuando no tiene varillas se aplica la formula, esta es la condición que también se deberá aplicar para la longitud enterrada.

3.5.12. Verificación de tensiones permitidas

Se debe de tomar las siguientes consideraciones:

- l) La tensión de malla deberá ser mayor que la tensión de toque tolerable ($E_m < K_t$), sino se cumple esta condición el diseño deberá ser modificado.
- m) Si ambas tensiones calculadas de toque como de paso son menores que las tensiones tolerables, el diseño solo necesitará los refinamientos para proporcionar el acceso a las bajantes de equipos ($E_s < K_p$), caso contrario, el diseño preliminar deberá ser modificado.
- n) Si se exceden las tensiones tolerables de toque como de paso, se necesitaría la revisión del diseño de la malla, en estas revisiones se deberá incluir los espaciamientos de los conductores más pequeños, varillas adicionales de tierra, entre otros.

3.6. NORMAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA

- IEEE 80-2013, Guide For Safety in AC Substation Grounding: Refiere el procedimiento para el diseño del mallado de puesta a tierra de la subestación, los niveles de tensión de paso y toque tolerables, así como también la seguridad de las personas y equipos que se encuentran expuestos a altas tensiones durante una falla del sistema o una descarga atmosférica [3].
- ANSI/IEEE Std. 81: 2013, IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Ground System: Norma Americana que proporciona información importante acerca de la resistividad de los suelos, su efecto en los sistemas de puestas a tierra y en los voltajes admisibles para el diseño de dichos sistemas [15].
- IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems, Standard 142-2007: Norma Americana que proporciona información acerca de la importancia de los sistemas de aterrizaje de sistemas eléctricos e instalaciones industriales [16].

3.7. VALORES PERMITIDOS DE RESISTENCIA EN SUBESTACIONES

En las normas IEEE y NFPA han recomendado el valor de resistencia de una puesta a tierra de 5Ω o menos [17].

Tabla 3.5. Valores de referencia para SPT.

Resistencia del SPT de la subestación	Valor máximo de resistencia (Ω)
Subestación de alta tensión	1 Ω
Subestación de distribución	5 Ω
Subestación de media tensión	10 Ω

3.8. LA CROMATOGRAFÍA DEL SUELO

La cromatografía es un método físico de separación para la caracterización de mezclas complejas, con aplicación en todas las ramas de la ciencia. Es un conjunto de técnicas basadas en el principio de retención selectiva, cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla para identificar y en muchos casos determinar las cantidades de dichos componentes.

Las técnicas cromatográficas son muy variadas, pero en todas ellas hay una fase estacionaria, que puede ser un sólido o un líquido fijado en un sólido. Los componentes de la mezcla interaccionan en distinta forma con la fase estacionaria. De este modo, los componentes han transitado por la fase estacionaria y se separan, pasan por un detector que genera una señal que depende de la concentración y del tipo de compuesto [18].

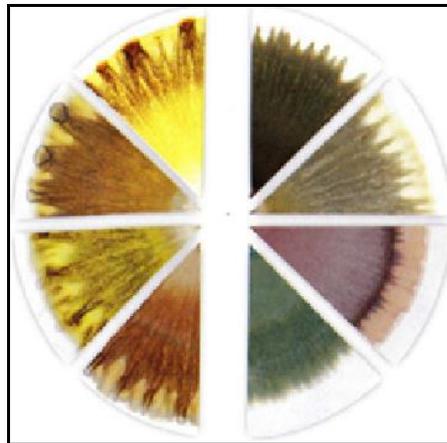


Figura 3.3. Patrón de colores para el análisis Cromatografía de suelos.

3.8.1. La interpretación de los cromatogramas

Una buena lectura e interpretación de un cromatograma está determinada por la información previa que exista sobre la muestra y el terreno de donde la tomamos. La confrontación entre los resultados de los cromas y la información recabada en campo (diagnóstico integral y socio tecnológicos) es básica para una mayor precisión en la lectura e interpretación del material y, por qué no decirlo, para un fructífero intercambio de saberes y dar buenas recomendaciones [2].

3.8.2. Interpretación de un cromatograma ideal o modelo

En la figura 7 fácilmente identificamos la integración y armonía de todas las partes o zonas que componen un buen cromatograma de un suelo sano y vital. Aunque en algunos casos las zonas no aparecen bien delimitadas, e incluso alguna de ellas puede no estar presentes, su tamaño o amplitud y su coloración son dos características que se deben considerar para una buena interpretación.

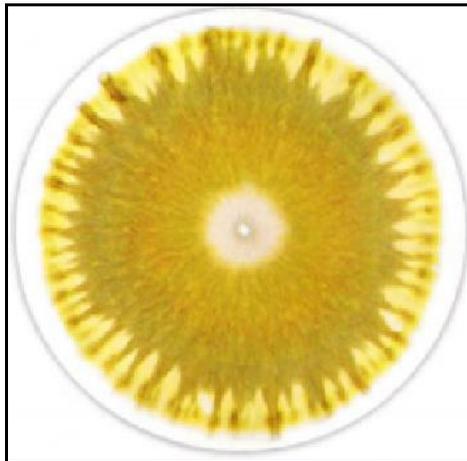


Figura 3.4. Cromatograma de un suelo ideal con integración.

3.8.3. Muestreo de suelos

Para realizar un muestro de suelo se debe revisar el protocolo adecuado, en donde:

1. Se debe identificar el área a muestrear, considerando áreas homogéneas con características físicas, topográficas y con manejo cultural.
2. Elaboración de una lista de productores y lotes que se va a muestrear, en donde se incluyan las coordenadas.
3. Levantamiento de la encuesta dirigida al productor, para obtener información sobre el manejo de cada ramal.
4. El lugar designado se raspa superficialmente y se lo limpia de restos vegetales sin eliminar suelo.
5. Utilizar maquinaria para perforar el suelo a una profundidad deseada y utilizar una escápula para la muestra del suelo.
6. Realizar el muestro en zigzag con profundidad de 30 cm, en un aproximado de 20 submuestras en todo el campo.

7. Mezclar las submuestras en una funda o recipiente plástico grande para obtener una mezcla compuesta.
8. Etiquetar cada muestra con un código elaborado con cada uno de los productores.
9. Enviar las muestras al laboratorio, en donde previamente deberán ser pesadas y etiquetadas para el respectivo análisis químico que la institución proporcionara con la siguiente información de nutrientes principales.

Escala de valoración de nutrientes principales

Nitrógeno (N)	210 ppm
Fósforo (P)	220 ppm
Potasio (K)	97,75 ppm
Calcio (Ca)	
Magnesio (Mg)	
Zinc (Zn)	
Cobre (Cu)	
Hierro (Fe)	
Manganeso (Mn)	

Escala de valoración de materia orgánica

- Nivel alto
- Nivel medio
- Nivel bajo

3.8.4. Elaboración del cromatograma

Para la elaboración del cromatograma se lo realiza siguiendo el protocolo donde se menciona que para el análisis cromatográfico existen diferentes actividades [19].

1. Obtenidas las muestras se clasifican las mismas asignando códigos de productor y teniendo en cuenta el Ramal al que pertenezca.
2. Las muestras se secan alrededor de 3 días sobre hojas de papel boom.

3. Al secarse se toman submuestras de 150 gr, donde se las pasan por un tamiz de plástico.
4. Se procede a moler en un mortero de porcelana hasta tener un polvo fino.
5. Con la ayuda de una balanza se determina un peso de 5 g de muestra anteriormente obtenida y se identifica.
6. Se prepara una solución de hidróxido de sodio en agua destilada para disolver la muestra del suelo, en cada 5 g se utilizará 50 ml de solución.
7. Prepara una solución de nitrato de plata para disolver medio gramo de nitrato de plata en 100 ml de agua destilada.
8. En la preparación del papel filtro se procede a perforar el centro del papel con un palillo de 2 mm de diámetro.
9. En la elaboración de los pabilos se utiliza papel filtro numero 4 con medidas de 2 cm de alto y de diámetro.
10. Impregnación del papel filtro con nitrato de plata se utiliza dos cajas de Petri de vidrio de 5 x 10 cm de diámetro, con el pabilo insertado en el centro del papel filtro.
11. La caja Petri se la coloca dentro de la grande centrada añadiendo el nitrato de plata, luego de 6,5 cm recorrido por este se procede a quitar el pabilo y recubrirlo por ambas caras con papel secante.
12. Se realiza 6 a 7 series para completar de 42 a 49 giros, se la deja reposar por 15 minutos y se la gira, se deja en reposo por 1 hora y de nuevo se la gira.
13. Cumplido el reposo de la acción alcalina y el tiempo de sacado del papel filtro se procede a poner el Petri más pequeño en el grande, luego se realiza el corrido final de la muestra, alrededor de 7 cm de diámetro.
14. El secado del corrido final de la muestra se la realiza retirando el pabilo y recubriendo por ambas caras del papel secante.
15. Secos los cromatogramas se deberá identificar el espacio final de muestra con lápiz 2 HB, usando el código de cada muestra.
16. El resultado de cada cromatografía se guardará en un folder lejos de la luz y humedad con separadores para que no se decoloren.

3.8.5. Actividad del pH

La acidez se mide en una escala de valores de pH que oscila entre 0 y 14, de esto el pH entre 5,5 y 6,5 es el rango estable para que exista una mayor disponibilidad en la mayoría de los cultivos.

Entre los materiales de cales o enmiendas más comunes se tiene:

- Carbonato de calcio o cal agrícola
- Óxido de calcio o cal viva
- Hidróxido de calcio
- Cal dolomita
- Carbonato de magnesio
- Óxido de magnesio

Tabla 3.6. Escala del pH.

pH	4	4,5	5	5,5	6	6,5	6,7	7	8	9	10	11
Acidez	Extrm. ácido			Muy ácido	Mod. ácido	Lig. ácido		Neutr o	Déb.alcali no	Alcalin o	Muy Alcalin o	Extrm. Alcalin o
Necesidad de caliza	Necesidad de caliza excepto para cultivos que requieren suelos ácidos			Necesidad de caliza excepto para cultivos que toleran suelos ácidos		Generalmente no se requiere caliza		No necesita caliza				
Frecuencia	Raro	Frecuente		Muy común en suelos cultivados de climas húmedos		Común en climas subhúmedos y ácidos			Áreas limitadas en los desiertos			
Grupos de suelos	Podzoles			Suelos podzólicos pardo grises		Suelos forestales pardo		Suelos castaños y pardos		Suelos alcalinos negros		
				Suelos de tundra		Suelos de pradera						
						Latosoles		Tierras negras tropicales				

3.8.6. Escala de colores del pH

El pH es una medida utilizada para la acidez o la alcalinidad, que muestra el valor de concentración de los iones hidronios $[H_3O]^+$, que se encuentran en una solución química. Como se representa en la Figura 3.5, la escala en una recta del 1 al 14, los inferiores al 7 indicaran acidez, el 7 es neutro y los mayores de 7 hasta 14, indican alcalinidad.

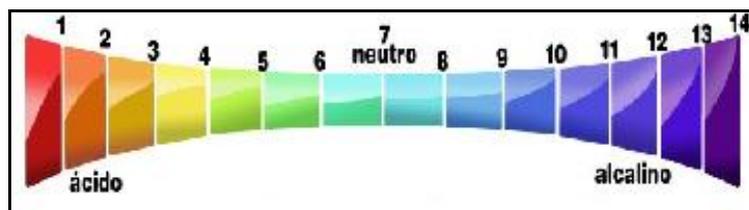


Figura 3.5. Escala pH (Potencial de Hidrógeno) [23].

3.8.7. Salinidad en el suelo

La salinidad se confunde muy comúnmente con la sodicidad del suelo como muestra la Tabla 3.7, pero son dos cosas completamente distintas, puesto que estos suelos tienen múltiples diferencias significativas en las propiedades químicas.

Tabla 3.7. Clasificación de suelos afectados por sales.

Grupo de suelo	Ce	Sodio intercambiable %	pH del suelo
Salino	> 4	< 15	< 8.5
Sódico	< 4	> 15	> 8.5
Salino-sódico	> 4	> 15	< 8.5

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos obtenidos durante la simulación para la caracterización de la cromatografía pueden disminuir costos y tiempo en el estudio de los sistemas de puestas a tierra.

4.1. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Para establecer una caracterización del cromatograma, así como el valor correspondiente de la resistividad a cada terreno, como también las recomendaciones para la mejora de este, se detalla cada una de las metodologías y técnicas que se utilizó para el desarrollo de este proyecto de investigación.

4.2. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

4.2.1. Investigación Teórica

Para esta técnica se realiza la obtención de datos cualitativos de la cromatografía del suelo entregados por la empresa CESA, además de información con respecto a los sistemas de puesta a tierra de las normativas correspondientes.

4.2.2. Investigación Cualitativa

Para esta técnica la empresa CESA aportó con datos archivados de muestras de suelos.

4.2.3. Investigación Cuantitativa

No es participativa, es decir no hay interacción entre el observador y los objetos de estudio, para eso se utiliza esta técnica para realizar un análisis de los datos obtenidos de la caracterización de suelo.

4.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

4.3.1. Método Descriptivo

Método con el cual se recopila datos cuantificados que se pueden analizar con fines estadísticos, contenida en la base de datos correspondiente a la empresa CESA, como también procedimientos para el desarrollo de los cromatogramas cuya finalidad permite establecer la caracterización de los elementos químicos que se presentan en el suelo.

4.3.2. Método Explicativo

Método con el cual se detalla el procedimiento de caracterización de la cromatografía, a partir de los datos obtenidos, se procede al cálculo de la puesta a tierra con las diferentes configuraciones que se estable en la norma.

4.3.3. Metodología Experimental

Con este método se trata de una orientación, a partir de lo escrito y explicado, se centra en ver a futuro el planteamiento de la hipótesis establecida, para esto el desarrollo de una simulación de puesta a tierra es fundamental en lo cual, al ingresar los datos obtenidos de la caracterización del suelo, se logra observar que tipo de sistema de puesta a tierra es la indicada.

4.4. METODOLOGÍA DE DESARROLLO

4.4.1. Obtención de datos de la empresa CESA

En este proyecto de investigación se procedió a conseguir información almacenada por la empresa CESA, la cual constaba de análisis de diferentes suelos, además de contener los reportes de los componentes químicos de dichas muestras, con sus respectivas cromatografías las cuales se encontraban almacenadas en un lugar apartado de los rayos del sol y que este en una temperatura considerable ya que los mismos pueden presentar cambios tanto de color y de forma, después de ser clasificadas se procedió a crear una base de datos.

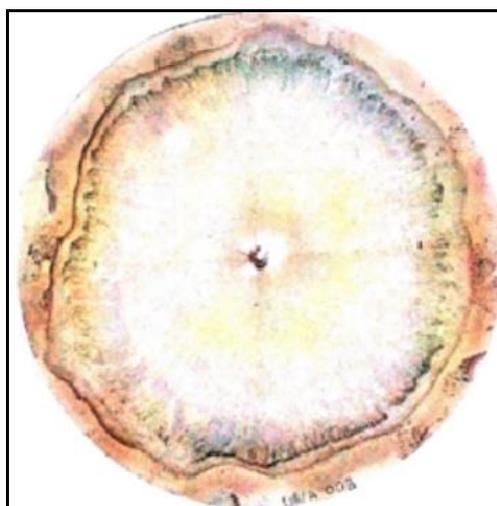


Figura 4.1. Cromatograma sacado de los archivos de la empresa CESA.

4.4.2. Digitalización de los datos

Seguido de la digitalización de datos en donde se toma en cuenta el lugar en donde se tomo la muestra, el cultivo actual, los componentes quimicos, para poder tener un mejor enfoque al momento de realizar la caracterización de los componentes del cromatograma madre con el simulado, en donde se observó diferencias, como las distintas zonas en que se encuentra dividido el cromatograma (zona central, zona interna, zona intermedia, zona externa), terminación del cromatograma de cada muestra.

Tabla 4.1. Proceso de digitalización de datos de la empresa CESA.

pH	ppm				meq/100mL				ppm			
	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn			
6,30	LAC	50,50 A	98,00 A	1,17 A	13,88 A	4,23 A	2,10 B	6,60 M	82,00 A	9,00 M		
6,70	PN	134,00 A	70,50 A	1,74 A	19,81 A	4,02 A	4,40 M	6,30 M	54,00 A	8,00 M		
6,70	PN	121,00 A	35,70 A	0,69 A	16,07 A	3,74 A	2,20 B	6,40 M	115,00 A	9,00 M		
7,20	PN	93,20 A	101,00 A	2,09 A	18,68 A	3,25 A	3,40 B	6,30 M	78,00 A	11,00 A		
6,50	PN	87,60 A	93,40 A	1,03 A	16,00 A	3,03 A	4,40 M	6,90 M	172,00 A	9,00 M		
6,50	PN	63,50 A	324,00 A	2,02 A	19,49 A	2,24 M	11,80 A	7,10 M	291,00 A	11,00 A		
7,40	PN	38,70 M	128,00 A	1,96 A	18,27 A	4,69 A	3,60 B	7,50 M	50,00 A	6,00 M		
7,60	LAI	9,51 B	78,90 A	1,86 A	20,50 A	3,32 A	2,70 B	6,10 M	45,00 A	8,00 M		
7,40	PN	75,20 A	321,00 A	0,45 A	18,71 A	4,07 A	11,60 A	12,80 A	45,00 A	14,00 A		
7,70	LAI	96,90 A	112,00 A	1,63 A	19,06 A	3,75 A	3,20 B	6,50 M	75,00 A	11,00 A		
7,70	LAI	137,00 A	137,00 A	1,90 A	19,31 A	3,32 A	2,80 B	7,80 M	56,00 A	8,00 M		
6,80	PN	119,00 A	158,00 A	1,54 A	17,07 A	3,98 A	3,90 B	8,10 M	136,00 A	9,00 M		
7,50	PN	142,00 A	90,80 A	0,94 A	18,30 A	4,11 A	2,90 B	7,70 M	98,00 A	8,00 M		
7,60	LAI	84,50 A	166,00 A	1,96 A	20,62 A	3,30 A	3,80 B	6,10 M	71,00 A	10,00 M		
6,10	Lac	73,87 A	216,25 A	6,16 A	17,41 A	4,14 A	15,10 A	6,70 M	233,00 A	9,40 M		
6,40	Lac	79,69 A	100,01 A	1,52 A	15,70 A	4,16 A	7,90 M	7,50 M	321,00 A	9,60 M		
7,60	LAI	56,41 A	190,90 A	5,47 A	19,04 A	3,86 A	6,10 M	5,00 M	68,00 A	9,80 M		
7,70	LAI	60,77 A	255,26 A	1,85 A	28,20 A	3,79 A	12,40 A	11,80 A	98,00 A	11,40 A		
8,00	MeAI	55,68 A	28,63 A	1,72 A	19,61 A	4,39 A	2,80 B	4,80 M	26,00 M	8,00 M		
6,40	Lac	109,53 A	46,18 A	1,12 A	16,67 A	3,98 A	3,90 B	6,40 M	145,00 A	7,50 M		
8,50	MeAI	109,53 A	268,91 A	13,35 A	13,87 A	4,58 A	6,50 M	4,30 M	150,00 A	51,40 A		
6,80	PN	59,32 A	63,93 A	1,17 A	17,62 A	4,29 A	3,80 B	6,40 M	83,00 A	9,00 M		
7,00	N	75,33 A	39,16 A	1,59 A	15,77 A	4,57 A	3,30 B	5,70 M	132,00 A	8,80 M		
6,20	Lac	43,31 A	105,86 A	1,56 A	15,80 A	3,37 A	7,80 M	6,10 M	201,00 A	9,10 M		
6,70	PN	46,95 A	321,57 A	2,08 A	17,85 A	12,70 A	11,60 A	6,10 M	89,00 A	8,50 M		
7,10	PN	22,20 M	163,57 A	1,75 A	14,96 A	3,54 A	7,30 M	5,90 M	176,00 A	8,30 M		
7,50	LAI	98,62 A	214,30 A	2,05 A	18,39 A	4,83 A	4,90 M	10,40 A	59,00 A	15,10 A		
6,50	PN	59,32 A	136,87 A	1,62 A	17,22 A	4,02 A	7,30 M	11,70 A	349,00 A	23,50 A		
7,80	LAI	101,53 A	39,16 A	1,15 A	21,78 A	3,12 A	6,00 M	11,10 A	68,00 A	18,20 A		
7,50	LAI	94,98 A	206,50 A	1,75 A	19,45 A	3,95 A	7,80 M	10,60 A	231,00 A	24,50 A		
5,80	MeAc	79,69 A	198,70 A	1,34 A	15,81 A	3,91 A	6,40 M	12,30 A	455,00 A	34,30 A		
8,60	Al	87,70 A	302,07 A	16,16 A	19,64 A	5,28 A	12,70 A	5,10 M	162,00 A	61,70 A		
7,80	LAI	546,00 A	9,91 B	23,48 A	11,47 A	27,54 A	52,00 A	258,00 B	20,00 B	6,50 M		
4,90	Mac RC	160,48 A	261,11 A	8,29 A	11,30 A	4,48 A	3,10 B	2,50 M	85,00 A	17,10 A		

4.4.3. Caracterización del cromatograma

Para la caracterización del cromatograma de los diferentes suelos que se encuentran en la base de datos se ha tomado como referencia para el análisis que se utiliza en el diseño del software, los compuestos químicos principales como el nitrógeno, fosforo, potasio, en donde como referencia de estos compuestos químicos se toman los valores de referencia de: 210 ppm en N, 220 ppm en P y 97,75 ppm en K, en donde se ha establecido las siguientes condiciones:

- Si los tres valores de los compuestos químicos cumplen con el análisis, se genera la coincidencia y busca en la base de datos y se genera el cromatograma del suelo con los diferentes parámetros que contiene.
- Si dos de estos tres valores de compuestos químicos cumplen con el análisis, se genera la coincidencia y busca en la base de datos y se genera el cromatograma del suelo.
- Si dos de estos tres valores de compuestos químicos no cumplen con el análisis, no se genera ninguna coincidencia, por lo tanto, se debe añadir a la base de datos.

Al haber obtenido una coincidencia, el software presenta el cromatograma con su tipo de terreno que corresponde, además de los parámetros como los datos informativos del suelo, las diferentes zonas del cromatograma (central, interna, intermedia, externa), la interpretación como una recomendación en el caso de que este suelo necesite ser tratado y el cálculo de la resistividad por el método de Wenner y Schlumberguer.

4.4.3.1. Caracterización del cromatograma para el caso de estudio

Para el proceso de caracterización del cromatograma, se debe tener en cuenta los valores de los componentes químicos más importantes como muestra la Tabla 4.2, para ingresarlos, como son el nitrógeno (N), fosforo (P) y potasio (K), en cada uno de esos apartados se visualizará además el porcentaje que tendrá de cada componente.

Tabla 4.2. Valores de los principales componentes químicos.

	<i>ppm</i>	%
“N”	93,20	44
“P”	101,00	46
“K”	81,72	84

Al tener los datos ingresados se procederá a “buscar”, en donde se visualizará la Tabla 4.3 , en donde muestra los datos del terreno, además si existe una coincidencia con la base de datos

utilizada en el desarrollo del software dará paso a los diferentes parámetros que contiene esta caracterización, en caso de no haber alguna coincidencia el software alertara al usuario que debe ingresar los valores del nuevo cromatograma en la base de datos.

Tabla 4.3. Datos del terreno.

Número de muestra	6192
Ubicación	Yugsiche Bajo
Cultivo actual	Policultivo

En la Tabla 4.4, consta el valor del pH, en donde marca un valor de 6.4, el rango adecuado que debe tener una buena calidad de suelo es de 5.5 a 6.5, además basándose en la escala de colores de pH ácidos o alcalinos, como lo marca el software se encuentra en rango.

Tabla 4.4. Componentes químicos y rango pH.

pH	6,4	En rango	
E Bases <i>meq/100ml</i>	Ca / Mg <i>meq/100ml</i>	Mg /K <i>meq/100ml</i>	(Ca + Mg) / K <i>meq/100ml</i>
23,35	4,45	4,37	23,84

Para determinar el rango que se encuentra en la Tabla 4.5, se procede desde el punto central del cromatograma hacia afuera, utilizando un escalímetro se tiene la medida de esta zona.

Tabla 4.5. Determinación de la zona central del cromatograma.

Rango	0 <i>cm</i>	-	0,8 <i>cm</i>
-------	-------------	---	---------------

En la Tabla 4.6, se localiza los compuestos minerales con sus valores determinados en el reporte de suelos, el Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu), Hierro (Fe) y Zinc (Zn), seguido del rango de la zona del cromatograma.

Tabla 4.6. Zona interna con compuestos (minerales).

Rango	0,8 <i>cm</i>	-	3,4 <i>cm</i>
N	93,20 <i>ppm</i>	Mn	8 <i>ppm</i>
P	101,00 <i>ppm</i>	Cu	7,7 <i>ppm</i>
K	81,72 <i>ppm</i>	Fe	98 <i>ppm</i>
Ca	18,3 <i>ppm</i>	Zn	2,9 <i>ppm</i>
Mg	4,11 <i>ppm</i>		

Para la **Tabla 4.7**, se determina la presencia o ausencia de materia orgánica *MO*, además del rango medido que tendrá esa zona.

Tabla 4.7. Zona intermedia y presencia de materia orgánica *MO*.

Rango	3,4 <i>cm</i>	-	4,6 <i>cm</i>
MO	2,41 %		

En colaboración con la empresa CESA, se ha llegado a interpretar unas recomendaciones para este tipo de suelo como muestra la **Tabla 4.8**, en base al análisis químico y cromatográfico.

Tabla 4.8. Interpretación del cromatograma.

Aplicar abono de cuy 8 días antes de la siembra, para abonar 1000 mm^2 se necesitan 40 sacos.
Usar sulfato de potasio para mejorar el aprovechamiento de macro y micronutrientes 20 Kg para 1000 mm^2
NOTA:
La recomendación esta generalizada para cereales

Dando énfasis a la caracterización del cromatograma, se ha añadido un parámetro en la **Tabla 4.9**, el cual consta de dos métodos (Wenner y Schlumberguer), además del tipo de terreno al que pertenece, este apartado se encuentra en la base de datos del software. Para la caracterización del cromatograma, se ha definido la zona interna ya que en esta se encuentra los principales compuestos (minerales), con los que se ha realizado el análisis.

Tabla 4.9. Resistividad del terreno.

Terraplenes cultivables poco fértiles	
Wenner	318,57 $\Omega * m$
Schlumberguer	323,25 $\Omega * m$

El flujograma mostrado en la Figura 4.2, corresponde a la lógica empleada para la programación del software; la misma donde se presenta el respectivo proceso para la caracterización del suelo, este programa analizara diferentes parámetros para la obtención del cromatograma, con la finalidad de obtener una coincidencia en donde abarcara el resultado de la resistividad, la misma que servirá para el análisis del caso de estudio de un sistema de puesta a tierra.

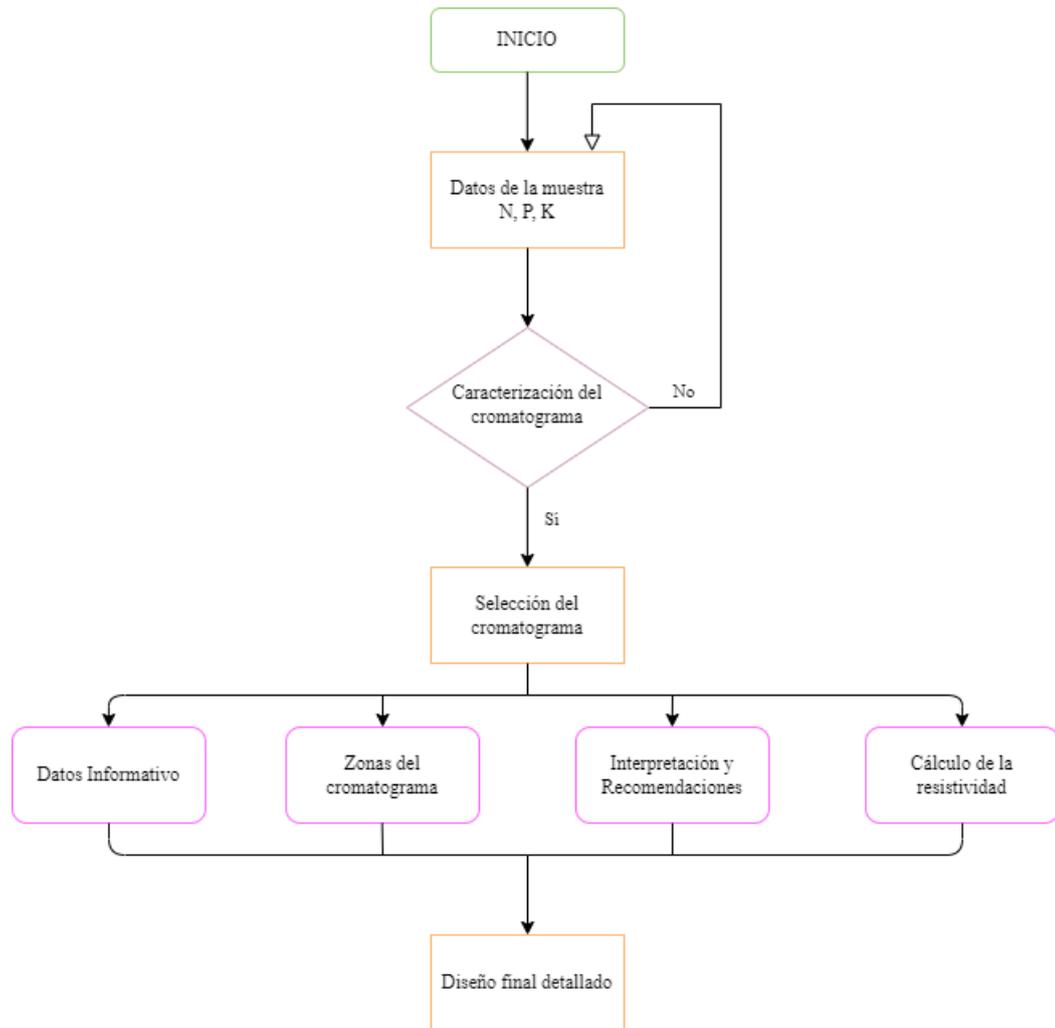


Figura 4.2. Diagrama de flujos general.

4.4.4. Diseño de la malla de puesta a tierra

En la ventana IEEE 80 está diseñado para el cálculo de los parámetros de un SPT, dando el valor de la resistividad, dimensiones del terreno en estudio donde se implementará, seguido de los datos de corriente de falla, factor de división de corriente, tiempo de falla y otros parámetros que se ha mencionado anteriormente. Mediante este software se obtendrá los resultados de: calibre del conductor a emplear en el mallado a tierra, tensiones tolerables de paso y de toque para personas de 50 y 70 kg, resistencia de la malla, corriente de malla, máximo potencial en la malla, tensión real de paso y tensión máxima de la malla.

4.4.4.1. Ubicación del proyecto

El diseño de un sistema de puesta a tierra para la subestación B, que se encontrará ubicada en la parte Noroccidente del cantón Latacunga, como se aprecia en el ANEXO 1.

4.4.4.2. Diseño de un SPT para el caso de estudio

Para comprobar el funcionamiento del software se ha desarrollado como ejemplo el caso base cuyas características de diseño se muestran en la Tabla 4.10.

4.4.4.3. Modelo de análisis

En este apartado está formado por tres etapas en donde se tiene el ingreso, calculo y resultados.

En la etapa de ingreso se tiene tres consideraciones las cuales el diseñador podrá elegir la que más le convenga:

- Caso 1. Para el modelado del terreno se utiliza los datos de resistencia para el cálculo de la resistividad, los cuales fueron recolectados para cada uno de los terrenos de estudio y dependiendo del método que se utilizó (Wenner o Schlumberguer).
- Caso 2. Para cada uno de los terrenos de la base de datos, se ha recolectado los valores de resistividad por los dos métodos planteados y se los añadido a su cromatograma correspondiente en donde se facilita el cálculo de este.
- Caso 3. En el software en caso de no trabajar con el cromatograma el mismo cuenta con el apartado de tipo de terreno el cual consta de varios tipos los cuales se encuentran normalizados con su respectiva resistividad.

Para el caso base se ha escogido según las características del terreno ya que es de tipo arenoso y su ubicación, ya que en nuestra base de datos consta de los parámetros que se desea se escogió un cromatograma el cual muestra el valor de resistividad el cual se utilizara para el desarrollo del diseño del SPT. En la etapa de resultados se visualiza los valores deseados para el diseño.

Figura 4.3. Diseño final de un SPT.

Para las etapas de cálculo del sistema de puesta a tierra se lo realiza en base a los datos planteados en el caso base.

Tabla 4.10 Datos utilizados por el caso base.

Duración de la falla	0,5 s
Resistividad de la capa superficial	2500
Espesor de la capa superficial	0,1 m
Corriente simétrica de falla	5174,5 A
Material del conductor de la malla	Cobre con conductividad del 97% a 40°C
X/R	3,465
Profundidad de la malla	0,5 m
Profundidad de enterramiento de la malla	0,9 m
Corriente de falla	16 kA
Peso personal	50 kg
Factor de división de corriente	0,2435
Frecuencia	60 hz
Factor de decremento	1,0091

4.4.4.4. Datos de la Geometría de la malla

En la Figura 4.3, el recuadro rojo indica el lugar donde se debe seleccionar el tipo de geometría que deberá tener la malla, ya que para esta aplicación se dispone de dos posibles formas de tipo cuadrangular y rectangular, así como también si posee varillas o no.

4.4.4.5. Sección y diámetro del conductor utilizado

En la Figura 4.3, el recuadro celeste indica la sección en donde se encuentran las temperaturas, además de visualizar los resultados del conductor a usar: sección del conductor, diámetro del conductor y sección normalizada del conductor.

4.4.4.6. Tensión de paso y toque tolerables

En la Figura 4.3, el recuadro marrón indica el lugar donde se debe seleccionar el peso de la persona, por ende, se calcula las tensiones de paso y toque tolerables, además del valor del factor de reducción.

4.4.4.7. Resistencia de la malla y Tensiones de toque y paso de la malla

En la Figura 4.3, el recuadro verde indica los resultados del cálculo de la resistencia de malla de puesta a tierra, además en el recuadro purpura indica el valor de tensión de contacto y de paso obtenidos.

Además, para el análisis de la malla se lo realizará siguiendo el procedimiento propuesto por la norma IEEE Std. 80. En la Figura 4.4, se muestra un flujograma que ejemplifica el procedimiento para realizar el diseño de un sistema de puesta a tierra.

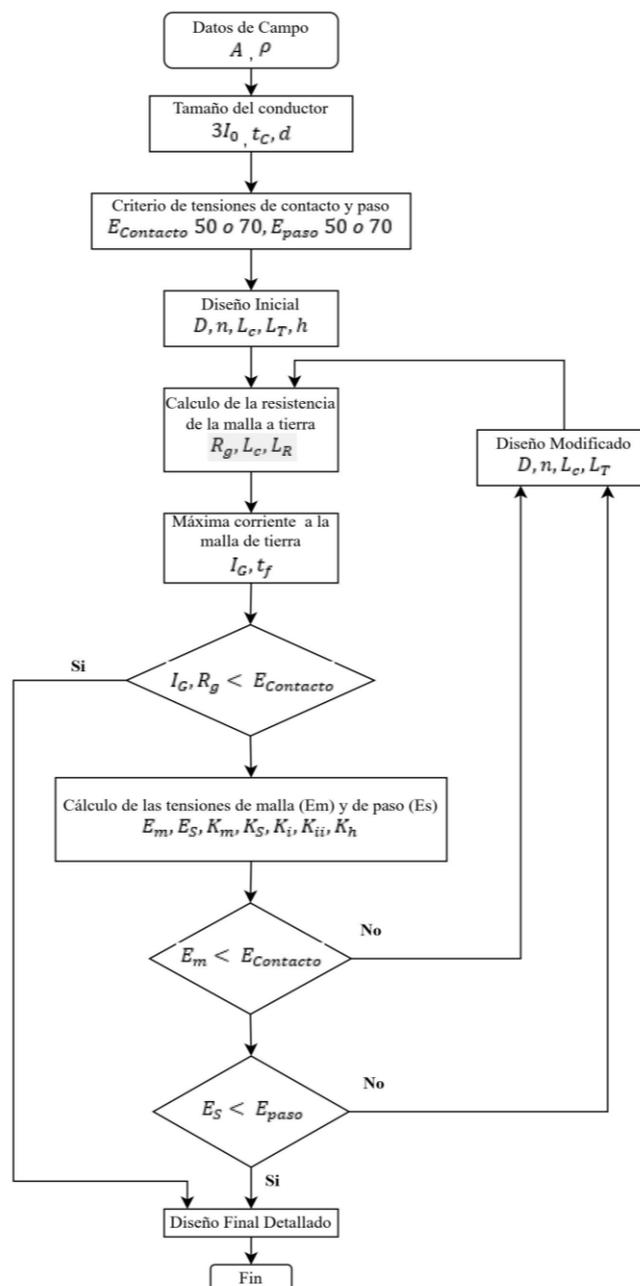


Figura 4.4. Diagrama de bloques del procedimiento del diseño de un SPT IEEE Std. 80.

Donde:

- A Área del sistema a tierra [m^2].
- ρ Resistividad del terreno [$\Omega * m$].
- I Corriente a través del conductor del sistema de tierra [kA].
- t_c Duración de la corriente de falla [s].
- d Diámetro del conductor del SPT [m].
- E_{tkg} Tensión de toque permitida para persona de 50-70kg [V].
- E_{pkg} Tensión de paso permitida para persona de 50-70kg [V].
- D Diámetro entre conductores paralelos de los electrodos [m].
- n Número de conductores paralelos en una dirección.
- L_c Longitud total de los conductores [m].
- L_t Longitud total del conductor enterrado [m].
- h Profundidad que se encuentra enterrado los electrodos [m].
- I_g Corriente máxima a través del SPT [A].
- t_f Duración de la corriente de falla [s].
- R_g Resistencia de puesta a terreno [Ω].
- E_m Tensión del sistema [V].
- E_p Tensión de paso [V].
- K_m Factor de espaciamento para la tensión de contacto.
- K_s Factor de espaciamento para la tensión de paso.
- K_i Factor de corrección para la geometría de malla.
- K_{ii} Factor de ponderación correctivo, para efectos de conductores internos.
- K_h Factor de ponderación correctivo, para efectos de profundidad de la malla.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

Mediante el análisis realizado, se obtuvo como resultado un cromatograma con los valores de caracterización de los compuestos químicos principales para el caso base de: 93,20 ppm en N, 101,00 ppm en P, 81,72 ppm en K, en donde se denota que en la caracterización del cromatograma cumplió con las condiciones planteadas para la aplicación desarrollada.

Para la validación de este diseño se ha creado unos valores mínimos con un porcentaje de aceptación en donde se compruebe la factibilidad de los compuestos químicos para tener como fin un cromatograma fiable para el estudio.

Al tener ya un cromatograma con sus diferentes características, se lo ha utilizado para el diseño de una puesta a tierra, ya que el mismo cuenta con el cálculo de la resistividad con los dos métodos planteados, para el caso de estudio se ha determinado una resistividad según el cromatograma de $318,57 \Omega * m$.

Para la validación de la resistencia, se lo ha realizado en conjunto con el personal de la empresa CESA, ya que las mediciones se las ha realizado para cada una de las muestras de terreno que se encuentra en la base de datos.

5.2. DIMENSIONAMIENTO DEL CASO BASE PARA SPT EN UNA SUBESTACIÓN

A continuación, se desarrolla el diseño de un SPT, tomando como referencia el trabajo referente a la Tabla 4.10, en dicho trabajo se consideró la subestación A, que tiene un área de $2700 m^2$, en un terreno de tipo arenoso con una resistividad de $400 \Omega * m$. Este análisis inicia con una malla cuadrada en caso de que el diseño no cumpla con las condiciones de resistencia, tensiones de paso y toque establecidos, se debe buscar una configuración adecuada para cumplir con los parámetros de diseño.

La subestación A, dispone de una barra de 115 kV en el caso de falla (L-T), no se desprecia la resistencia 0Ω , para el cálculo de la impedancia equivalente se considera con una secuencia positiva $2,242 + 629j$ y cero $6,191 + 24,404j$ del sistema con varillas en las esquinas.

Para este caso han logrado diseñar para una configuración rectangular como se muestra en la Tabla 5.1, con un total de 22 varillas Copperweld de 6 metros a una separación de 5 metros, ocupando toda el área disponible de $60m \times 45m$. En donde llegaron a la configuración

satisfactoria la cual se puede verificar con la tensión de malla $E_m < E_t$ y la tensión real de paso $E_{pr} < E_p$, cumpliendo así con los parámetros establecidos.

Tabla 5.1. Resultados de malla rectangular con varillas.

TIPO DE MALLA	RECTANGULAR			
Área	A	2700		m^2
Resistividad del Terreno	ρ	400		Ωm
Longitud de los conductores	LT	1317		m
Corriente de diseño	ID	16		kA
Conductor	Cobre comercial duro 1			
Sección del Conductor Normalizado	Sc	2/0		AWG
Sección del Conductor	Sc	67,44		mm^2
Diámetro del conductor	d	9,27		mm
Tensión de Paso	Ep	1983,2931		V
Tensión de Toque	Et	618,8599		V
Resistencia de malla	Rg	3,6754		Ωm
Corriente de falla Máxima	IG	1271,5156		A
Elevación de Potencial de Tierra	GPR	4673,3283		V
Valor Geométrico	Km	0,6883		
Factor de Irregularidad	Ki	2,3229		
Valor Geométrico	Ks	0,4397		
Tensión Máxima de la Malla	Em	579,7925		V
Tensión Real de Paso	Epr	519,0479		V
Epr	519,0479	<	1983,0479	Ep
Em	579,7925	<	618,8599	Et
Rg	3,6754	<	5	5Ω
DISEÑO CORRECTO				

5.3.MODELADO DEL TERRENO

Las mediciones están realizadas en 34 terrenos de tipo arenoso cultivables en una zona rural en la parte Noroccidente del cantón Latacunga, como se puede observar en el ANEXO 8. Mediante los métodos de Wenner y Schlumberguer se realizó las mediciones con un espaciamento de picas de 0,50 m, así mismo cada medición se la realiza en diferentes direcciones para minimizar la influencia en las lecturas en caso de existir estructuras metálicas enterradas en el área de estudio.

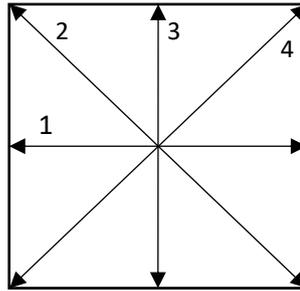


Figura 5.1. Orientaciones para las mediciones de la resistividad del terreno.

Siguiendo el caso base, se realiza el modelamiento del terreno utilizando los datos medidos en campo para un terreno arenoso, en donde se determinó el cromatograma de la Figura 8.16, para este tipo de terreno, para obtener una resistividad aparente se utilizó la (3.4). En la Tabla 5.2, se observa los valores de resistividad aparente, calculados mediante el método de Wenner, además se procede aproximar al inmediato superior el valor de la resistividad que en este caso y con los datos obtenidos de campo se tiene un valor de $318,57 \Omega * m$, que se utilizara para el diseño del SPT.

Tabla 5.2. Perfil de resistividad y modelado de terreno.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CALCULO DE RESISITIVIDAD

DATOS	a (m)	b(m)	R1 (Ω)	RESISTIVIDAD (Ω/m)	R2 (Ω)	RESISTIVIDAD (Ω/m)	PROMEDIO
1	1	0.3	77.9	644.117	74.25	613.937	629.027
2	1.5	0.3	53.2	584.579	52.5	576.887	580.733
3	2	0.3	35.42	489.468	34.12	471.504	480.486
4	2.5	0.3	29.45	493.078	23.24	389.105	441.092
5	3	0.3	19.45	383.704	19.2	378.772	381.238
6	3.5	0.3	15.75	358.348	15.11	343.786	351.067
7	4	0.3	14.23	367.184	14.02	361.766	364.475
8	4.5	0.3	11.55	333.49	11.3	326.272	329.881
9	5	0.3	8.49	271.317	8.03	256.616	263.967

www.utc.edu.ec

Donde:

a Distancia entre pica a pica [m].

b Longitud de la pica [m].

$R1$ Resistencia perfil 1 [Ω].

$\rho1$ Resistividad calculada [$\Omega * m$].

$R2$ Resistencia perfil 2 [Ω].

$\rho2$ Resistividad calculada [$\Omega * m$].

5.4. CROMATOGRAFÍA DEL SUELO

Una vez que se ha ingresó los datos de los componentes químicos con los valores para el caso de estudio de la Tabla 4.2, para estos valores se tiene una coincidencia la cual como primera instancia se tiene un valor de pH de 6.4, que se encuentra dentro del rango por ende se tiene una buena calidad de suelo y una buena conductividad eléctrica, además en la interfaz se aprecia una interpretación que a su vez sirvió como recomendación para mejorar o mantener el terreno.

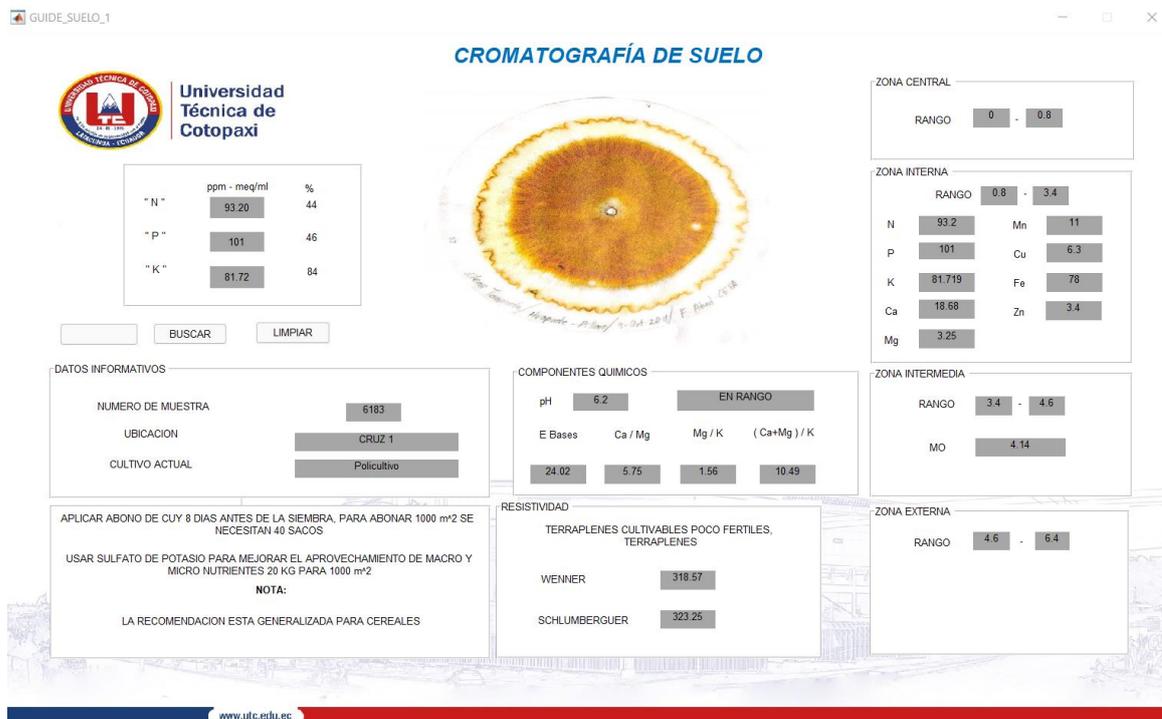


Figura 5.2. Caracterización del cromatograma.

5.5. GEOMETRÍA DE MALLA

Con los parámetros base que el caso de estudio proporciona se procede a realizar el diseño de SPT con la resistividad obtenida del cromatograma según los parámetros del terreno, en donde se obtuvo los siguientes resultados. En donde se tiene que las tensiones de malla $E_m < E_t$ y la tensión real de paso $E_{pr} < E_p$, cumplen con los parámetros planteados en el caso de estudio.

Tabla 5.3. Resultados de malla cuadrangular con varillas del caso comparación.

TIPO DE MALLA	CUADRANGULAR CON VARILLAS			
Área	A	2700	m^2	
Resistividad del Terreno	ρ	318,17	Ωm	
Longitud de los conductores	LT	1317	m	
Corriente de diseño	ID	16	kA	
Conductor	Cobre comercial duro 1			
Sección del Conductor Normalizado	Sc	2/0	AWG	
Sección del Conductor	Sc	67,44	mm^2	
Diámetro del conductor	d	9,27	mm	
Tensión de Paso	Ep	1958,42	V	
Tensión de Toque	Et	612,641	V	
Resistencia de malla	Rg	2,9192	Ωm	
Corriente de falla Máxima	IG	1259,99	A	
Elevación de Potencial de Tierra	GPR	3678,163	V	
Valor Geométrico	Km	0,8280		
Factor de Irregularidad	Ki	1,828		
Valor Geométrico	Ks	0,4388		
Tensión Máxima de la Malla	Em	446,11	V	
Tensión Real de Paso	Epr	236,423	V	
Epr	446,11	<	1958,42	Ep
Em	236,423	<	612,641	Et
Rg	2,9192	<	5	5Ω
DISEÑO CORRECTO				

a) Validación del ejercicio caso base y caso comparación

En el ejercicio de comparación del proyecto de titulación, se obtienen los resultados de la Tabla 5.4, y con la utilización del software este proyecto se tiene los resultados de la Tabla 5.4, teniendo una variación mínima, y cumpliendo con los parámetros de este caso de estudio [23].

Tabla 5.4. Validación del ejercicio base y comparación.

TIPO DE MALLA	RECTANGULAR			CUADRANGULAR			
Área	A	2700	m^2	A	2700	m^2	
Resistividad del Terreno	ρ	400	Ωm	ρ	318,17	Ωm	
Longitud de los conductores	LT	1317	m	LT	1048	m	
Corriente de diseño	ID	16	kA	ID	16	kA	
Conductor	Cobre comercial duro 1			Cobre comercial duro 1			
Sección del Conductor Normalizado	Sc	2/0	AWG	Sc	2/0	AWG	
Sección del Conductor	Sc	67,44	mm^2	Sc	67,44	mm^2	
Diámetro del conductor	d	9,27	mm	d	9,27	mm	
Tensión de Paso	Ep	1983,293	V	Ep	1958,42	V	
Tensión de Toque	Et	618,89	V	Et	612,641	V	
Resistencia de malla	Rg	3,6754	Ωm	Rg	2,9192	Ωm	
Corriente de falla Máxima	IG	1259,99	A	IG	1259,99	A	
Elevación de Potencial de Tierra	GPR	4630,967	V	GPR	3678,163	V	
Valor Geométrico	Km	0,8280		Km	0,8280		
Factor de Irregularidad	Ki	1,828		Ki	1,828		
Valor Geométrico	Ks	0,4388		Ks	0,4388		
Tensión Máxima de la Malla	Em	560,141	V	Em	446,11	V	
Tensión Real de Paso	Epr	296,855	V	Epr	236,423	V	
Epr	560,141	<	1983,0479	Ep	446,11	<	1958,42
Em	296,855	<	618,8599	Et	236,423	<	612,641
Rg	3,6754	<	5	5 Ω	2,9192	<	5
DISEÑO CORRECTO				DISEÑO CORRECTO			

b) Proforma de materiales caso base

Para el caso base se ha propuesto una unión de tipo soldadura de la Tabla 5.5, teniendo en cuenta que el precio de estos materiales es de referencia. En donde se determina un total de 184,40 m de conductor y 22 varillas Copperweld de 3 m c/u.

Tabla 5.5. Materiales caso base – Unión tipo soldadura.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Cobre desnudo rígido 2/0 AWG	m	184,40	11,35	2092,94
2	Varilla Copperweld 254 micras 5/8 3m	u	22,00	20,00	240,00
3	Molde Thermold cable tipo CC-4 2/0	u	1,00	140,00	140,00
4	Carga para Suelda 115 x 1	u	7,00	7,49	52,43
5	Molde Thermold cable tipo CC-2 2/0	u	1,00	140,00	140,00
6	Carga para Suelda 90,0 x 1,0	u	8,00	6,50	52,00
7	Molde Thermold cable varilla tipo CR-2 2/0	u	2,00	140,00	280,00
8	Carga para Suelda 90,0 x 1,0	u	15,00	6,50	97,50
				Subtotal	3094,87
				IVA 12%	371,38
				TOTAL	3466,25

c) Comparación de proforma caso base y caso desarrollado

Comparando las proformas, se tiene una diferencia de 26 mil dólares, esto se debe a que el costo del conductor Cobre comercial duro 1, es más elevado en comparación al conductor de Cobre desnudo rígido. Teniendo en cuenta que el caso base esta evaluado con unión de tipo soldadura, la cual son muy costosas vista desde el aspecto técnico. Al comparar el caso base con el caso desarrollado, se tiene una variación considerable, ya que el precio de los materiales del caso base utiliza proforma de la IEEE Std 80, y el caso de comparación en costo referencial en mercado actual, por otro lado si se quiere mejorar el diseño se lo puede hacer mediante el mejoramiento del terreno ya que este proyecto cuenta con las características del suelo, análisis químico, además cuenta con una base de datos en donde el caso de estudio hace referencia a la resistividad, se puede tener una idea más relevante para realizar este tratamiento que sería lo más óptimo para menorar costos en el diseño de un SPT.

d) Proforma de materiales nuevos para el caso base

Para el caso desarrollado se ha propuesto una unión de tipo soldadura de la Tabla 5.6, teniendo en cuenta que el precio de estos materiales es de referencia al mercado actual. En donde se determina un total de 1350 m de conductor y 22 varillas Copperweld de 6 m c/u.

Tabla 5.6. Proforma de materiales nuevos para caso base.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Cobre comercial 250 MCM	m	1350	12,00	16,200,00
2	Varillas Copperweld 2 m con punta cónica + rosca	u	22	32,78	917,84
3	Varillas Copperweld 2 m con rosca + rosca	u	22	27,45	768,60
3	Varillas copperwel 2 m con rosca + terminación final plana	u	22	32,78	917,84
4	Soldadura exotérmica conexión tipo T cable (250MCM) 115gr.	m	16	8,00	128,00
5	Soldadura exotérmica conexión tipo T cable varilla (250MCM - 5/8) 300gr.	m	28	15,00	420,00
6	Soldadura exotérmica conexión tipo X cable pasante (250MCM) 300gr.	u	77	15,00	1155,00
7	Molde de grafito para soldadura exotérmica conexión tipo T (250MCM).	u	1	150,00	150,00
8	Molde de grafito para soldadura exotérmica conexión tipo T.	u	1	150,00	150,00
9	Molde de grafito para soldadura exotérmica conexión tipo X	u	2	150,00	300,00
10	Pinza alicata Sujetarían de Molde Soldadura Exotérmica	u	1	80,00	80,00
11	Cortador de Cable de Cobre Aluminio (350 mm ²)	u	1	215,00	215,00
12	Chispero	u	2	17,00	34,00
13	Repuesto piedras para Chispero	u	2	6,78	13,56
				Subtotal	22849,84
				IVA 12%	2741,98
				TOTAL	25591,82

5.6. ANÁLISIS SOCIO ECONÓMICO

5.6.1. Factibilidad Técnica

En este proyecto se puede demostrar un diseño de SPT por medio de la caracterización del cromatograma del suelo, facilitando así un análisis del suelo como un estudio de resistividad para el diseño de puesta a tierra, ya que en este proyecto se ha desarrollado una base de datos.

5.6.2. Impacto social

Este proyecto es innovador para estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica e ingenieros dedicados al diseño de puestas a tierra, tales que en el encontraran el diseño de un sistema de puesta a tierra basado en las normas y a su vez considerando la parte de seguridad, confiabilidad, ante grandes pérdidas ya sea humanas como económicas.

5.6.3. Análisis técnico – económico

El software de este proyecto permitirá mitigar un estudio de suelo ya que consta de una base de datos, la misma que se utilizará para el diseño de un sistema de puesta a tierra, en donde se detalla el estado en que se encuentra químicamente y su interpretación para mejorar el suelo, lo cual puede menorar costos en material o en mejoradores.

5.7. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO

Para el presupuesto del proyecto se ha planteado elementos que son fáciles de acceder y con un costo no tan elevado, ya que esta herramienta se la crea de tipo aplicación para que sea de acceso dinámico para al usuario.

Tabla 5.7. Presupuesto del proyecto.

Recursos	Cantidad	Unidad de medida	Valor unitario	Total
Programador	1	Persona	\$ 150,00	\$ 150,00
Total, recursos humanos				\$ 150,00
MATERIALES				
Cromatografía	1	Unidad	\$ 30,00	\$ 30,00
Total, materiales				\$ 30,00
TECNOLOGIAS				
Computadora	100	Horas	\$ 0,45	\$ 45,00
Internet	100	Horas	\$ 0,50	\$ 50,00
Total, recursos tecnológicos				\$ 95,00
MOVILIZACION Y TRANSPORTE				
Alimentación	5	Unidad	\$ 2,50	\$ 12,50
Movilización	5	Unidad	\$ 5,00	\$ 25,00
Total, recursos movilización y transporte				\$ 37,50
Gastos Extras				\$ 50,00
TOTAL				\$ 315,00

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Mediante la investigación de las características geotécnicas del suelo, se encontró información orientada a la agricultura, la misma que es de gran ayuda para empezar a conocer el estado del terreno, y juntamente con las normas IEEE 80, 81 y 142 que hacen referencia a la resistividad del terreno que se utiliza como insumo para el cálculo de los sistemas de puesta a tierra. Además, se hace énfasis al uso correcto de materiales orgánicos para el mejoramiento del terreno, en donde se evidencia mayormente la presencia de los elementos químicos, que comúnmente están presente en la mayoría de los suelos, evitando el uso de pesticidas o materiales contaminantes que perjudica el ambiente.
- Los valores principales de los componentes químicos (N), (P) y (K), se los determino en la primera zona del cromatograma, ya que en dicha zona es donde se encuentran todos los minerales, con rangos mínimos de 210 ppm en nitrógeno, 220 ppm en fósforo y 97,75 ppm en potasio, la mayoría de las muestras tienen una caracterización con rangos óptimos en pH en donde se pudo determinar que algunas muestras presentan acidez media y alta alcalinidad.
- Para definir una aplicación de la herramienta desarrollada se tomó como referencia la propuesta del sistema de puesta a tierra de la subestación A, como la resistencia de malla, corriente de falla máxima, tensiones de paso y tensiones de toque, que deberán cumplir para un diseño óptimo de un SPT.
- Para la relación de los cromatogramas y la resistividad del terreno, se definió una aplicación en donde se determinó un total de 34 muestras en campo ya que para cada terreno se procedió al levantamiento de datos de las mediciones de resistencia para poder obtener la resistividad aparente de cada uno, en donde se identificó que los cromatogramas son compatibles con las resistividades.

6.2. RECOMENDACIONES

- Es recomendable seguir realizando mediciones para tener un mejor espectro en la base de datos, para una mayor precisión de los resultados en cuanto a la caracterización del cromatograma con su respectiva resistividad.
- Para la digitalización se recomienda la utilización de equipos fotográficos de media o alta calidad, ya que así se podrá obtener un cromatograma en alta resolución y por ende se podrá caracterizar de mejor manera y a su vez se podrá observar y delimitar aún más los rangos de las zonas del cromatograma.
- Se recomienda la integración de otras ramas de ingeniería, ya que así se podrá tener un ambiente más óptimo en cuanto a la digitalización, programación y caracterización del cromatograma, y por ende tener una mejor perspectiva de la resistividad del terreno para el diseño de un SPT.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. E. Bautista, J. del Castillo y F. G. R., «La calidad del suelo y sus indicadores,» vol. 2, pp. 90-97, 2004.
- [2] S. P. Jairo Restrepo Rivera, CROMATOGRAFIA "IMAGENES DE VIDA Y DESTRUCCION DEL SUELO", Cali: Feriva, 2011.
- [3] IEEE, Guide for safety in AC Substation Grounding, Edition 80 - 2000, The Institute of Electrical and Electronics Engineers., USA: Inc., January 2000.
- [4] J. M. R., «PUESTA A TIERRA EN EDIFICIOS Y EN INSTALACIONES ELECTRICAS,» Editorial Paraninfo, Madrid, España, 2000.
- [5] G. ROJAS, Manuel de Sistemas de Puesta a Tierra, 2007.
- [6] G. HARPER, Manual Tecnico en subestaciones Electricas, 2008.
- [7] I. AGULLEIRO y M. MARTINEZ, «Texnicas Modernas para la MEDicion de Sistemas de Puestas a Tierra Urbanas,» Extracto.
- [8] N. OJEDA, SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA. Guia curso de extension de conocimientos., Caracas: p.16 ISBN 934-83-430-48292, 2000.
- [9] S. J. P. Hidalgo, SOFTWARE PARA EL ANALISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS OPTIMIZADOS DE PUESTA A TIERRA PARA LINEASA DE TRANSMISION DE 500 KV, APLICADO AL PROYECTO COCA - INGA, Quito, Abril, 2012.
- [10] J. F. Caiza Moreno y C. F. Torres Gonzaga, "Desarrollo de una herramienta informática para el diseño de sistemas de puestas a tierra en subestaciones y líneas de Transmisión", Latacunga, 2020.
- [11] J. L. Altamirano Pérez, "Diseño del nuevo laboratorio de prueba para transformadores de potencia y de una alimentacion independiente para el laboratorio de distribución existente de la empresa ECUATRAN S.A.", Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2011.
- [12] Á. T. Pacheco Guambaña y J. M. Jiménez Zhigui, "Diseño de sistemas de puesta a tierra partiendo de un modelo biestratificado de terreno, aplicando un software computacional en el sector industrial", Cuenca, 2013.
- [13] E. M. Simbaña Pulupa, "Estimacion de parámetros de suelo no homogéneo y diseño del sistema de puesta a tierra de la subestación Loreto 138/69 kV", Quito, 2018.
- [14] W. E. Pérez Loarca, C. J. Serrano Barrios y O. O. Surgio Guevara, "Manual de aplicación de la norma IEEE Std 881 para líneas y subestaciones eléctricas de transmisión", San Salvador, 2015.

- [15] I. ANSI/IEEE STD. 81: 1983, Guía para la medición de la Resistividad., USA: Ing., April 1983.
- [16] I. S. 4. -. 1991, Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.
- [17] FLUKE, "Resistencia de Puesta a tierra, EE.UU., 2017.
- [18] H. A. Arias y A. G. M., «"Aplicación de la colorimetría en la determinación del contenido de la materia orgánica de los suelos",» Acta Agronómica, 1966, pp. 169-196.
- [19] K. M. Obando Pullotasig, "Caracterización de suelos mediante la técnica de cromatografía en papel en el área de influencia del sistema de agua de riego canal central, Toacaso, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi", Latacunga, 2021.
- [20] F. M. Sinchi Sinchi, "Diseño y determinación de sistemas de puesta a tierra mediante pruebas de campo con elementos comunes utilizados en la región, incluyendo Gem y Electrodo Químico", Cuenca, 2017.
- [21] R. G. Marquez, «LA PUESTA A TIERRA DE INSTALACIONES ELECTRICAS,» MARCOMBO, S. A.,, Barcelona, España, 1999.
- [22] J. R. CASTAÑO, «SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA,» Colombia, 2010.
- [23] M. Churillo, «CÁLCULO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA APLICACIÓN DE LA NORMA IEEE 80-2000,» Universidad de Cuenca, Cuenca, 2012.
- [24] J. A. V. V. GERARDO MORAN OSPINA, Fundamentos e ingeniería de las puestas a tierra; Respuestas ante fallas eléctricas y rayos., Universidad de Antioquia, 2007.
- [25] Y. PALACIOS, Resistividad del Suelo - Metodo de Medicion, 2016.
- [26] H. G. ENRIQUEZ, Diseño de Redes de Tierra, Tercera Edición, Lima - Peru: LIMUSA, 2008.

ANEXOS

8. ANEXO 1. Ubicación del proyecto.



Figura 8.1. Ubicación del proyecto, subestación "B".

8. ANEXO 2. Cromatogramas de estudio.



Figura 8.2. Cromatograma de estudio CRUZ 1.



Figura 8.3. Cromatograma de estudio CRUZ 1.



Figura 8.4. Cromatograma de estudio CRUZ 1.



Figura 8.5. Cromatograma de estudio CRUZ 1.

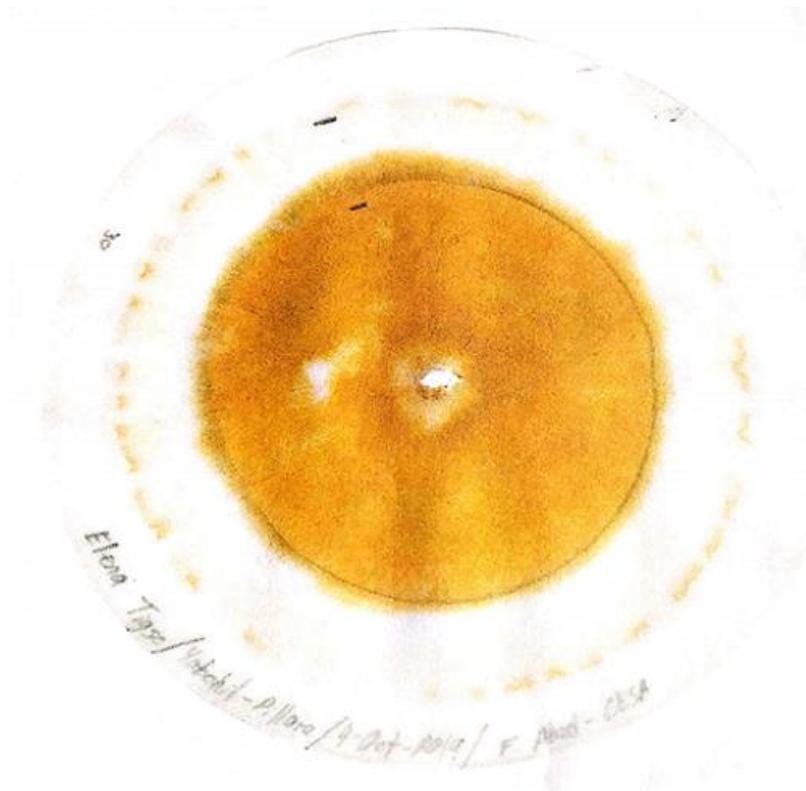


Figura 8.6. Cromatograma de estudio CRUZ 1.



Figura 8.7. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.



Figura 8.8. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.

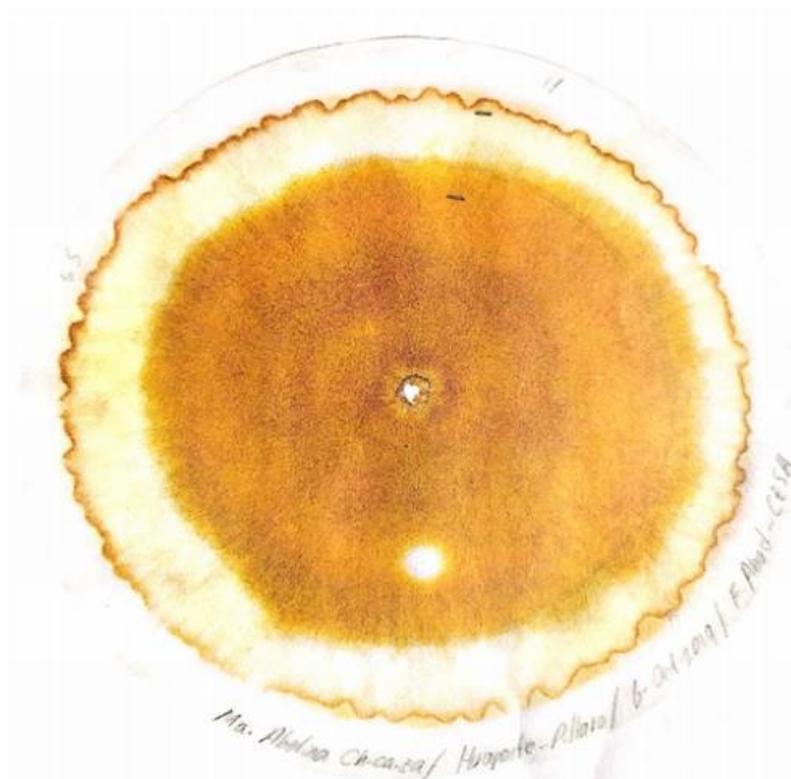


Figura 8.9. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.



Figura 8.10. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.



Figura 8.11. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.



Figura 8.12. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.



Figura 8.13. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.



Figura 8.14. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.



Figura 8.15. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.



Figura 8.16. Cromatograma de estudio YUGSICHE BAJO.

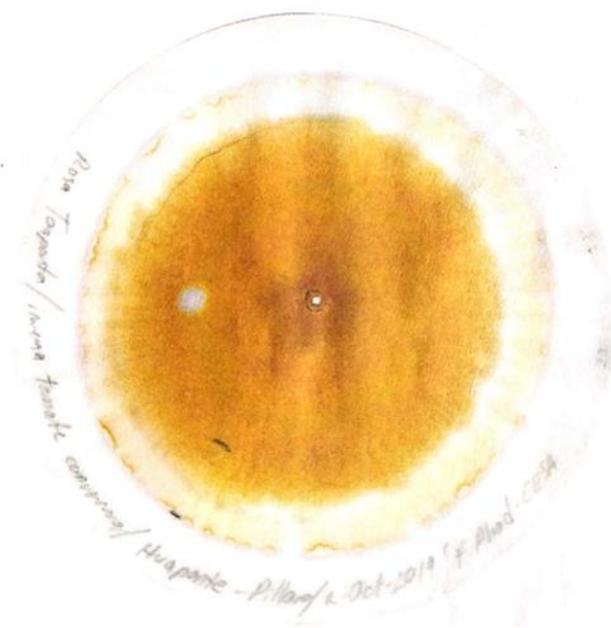


Figura 8.17. Cromatograma de estudio CRUZ 2.



Figura 8.18. Cromatograma de estudio CRUZ 2.



Figura 8.19. Cromatograma de estudio CRUZ 2



Figura 8.20. Cromatograma de estudio CRUZ 2.

8. ANEXO 3. Reporte de análisis de suelos digitalizados.

Tabla 8.1. Reporte de análisis de suelos digitalizado.

No. Laborat.	Identificación del Lote	pH	pom		meq/100mL					ppm					meq/100mL	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K										
			N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Σ Bases																
6180	Lourdes Cortes	6.3	LAC	50.50	A	98.00	A	1.17	A	13.88	A	4.23	A	2.1	B	6.6	M	82.0	A	9.0	M	19.28	3.28	M	3.62	M	15.48	M
6181	Petrona Sisa	6.7	PN	134.00	A	70.50	A	1.74	A	19.81	A	4.02	A	4.4	M	6.3	M	54.0	A	8.0	M	25.57	4.93	M	2.31	B	13.70	M
6182	Alfonso Galora	6.7	PN	121.00	A	35.70	A	0.69	A	16.07	A	3.74	A	2.2	B	6.4	M	115.0	A	9.0	M	20.50	4.30	M	5.42	M	28.71	M
6183	Elena Toapanta	7.2	PN	93.20	A	101.00	A	2.09	A	18.68	A	3.25	A	3.4	B	6.3	M	78.0	A	11.0	A	24.02	5.75	M	1.56	B	10.49	B
6184	Rosa Maiquiza	6.5	PN	87.60	A	93.40	A	1.03	A	16.00	A	3.03	A	4.4	M	6.9	M	172.0	A	9.0	M	20.06	5.28	M	2.94	M	18.48	M
6185	Zoila Pujos	6.5	PN	63.50	A	324.00	A	2.02	A	19.49	A	2.24	M	11.8	A	7.1	M	291.0	A	11.0	A	23.75	8.70	M	1.11	B	10.76	B
6186	Elena Tigse	7.4	PN	38.70	M	128.00	A	1.96	A	18.27	A	4.69	A	3.6	B	7.5	M	50.0	A	6.0	M	24.92	3.90	M	2.39	B	11.71	B
6187	Maria Soledad Ortega	7.6	LAI	9.51	B	78.90	A	1.86	A	20.50	A	3.32	A	2.7	B	6.1	M	45.0	A	8.0	M	25.68	6.17	M	1.78	B	12.81	M
6188	Lourdes Hurtado	7.4	PN	75.20	A	321.00	A	0.45	A	18.71	A	4.07	A	11.6	A	12.8	A	45.0	A	14.0	A	23.23	4.60	M	9.04	M	50.62	A
6189	Anita Ortega	7.7	LAI	96.90	A	112.00	A	1.63	A	19.06	A	3.75	A	3.2	B	6.5	M	75.0	A	11.0	A	24.44	5.08	M	2.30	B	13.99	M
6190	Maria Anelina Chicaiza	7.7	LAI	137.00	A	137.00	A	1.90	A	19.31	A	3.32	A	2.8	B	7.8	M	56.0	A	8.0	M	24.53	5.82	M	1.75	B	11.91	B
6191	Marina Liquinchana	6.8	PN	119.00	A	158.00	A	1.54	A	17.07	A	3.98	A	3.9	B	8.1	M	136.0	A	9.0	M	22.59	4.29	M	2.58	M	13.67	M
6192	Miguel A. Ortega	7.5	PN	142.00	A	90.80	A	0.94	A	18.30	A	4.11	A	2.9	B	7.7	M	98.0	A	8.0	M	23.35	4.45	M	4.37	M	23.84	M
6193	Teresa Ugsha	7.6	LAI	84.50	A	166.00	A	1.96	A	20.62	A	3.30	A	3.8	B	6.1	M	71.0	A	10.0	M	25.88	6.25	M	1.68	B	12.20	B
6194	Zenaida Chicaiza	6.1	LAc	73.87	A	216.25	A	6.16	A	17.41	A	4.14	A	15.1	A	6.7	M	233.0	A	9.4	M	27.71	4.21	M	0.67	B	3.50	B
6195	Nicolas Tuso	6.4	LAc	79.69	A	100.01	A	1.52	A	15.70	A	4.16	A	7.9	M	7.5	M	321.0	A	9.6	M	21.38	3.77	M	2.74	M	13.07	M
6196	Marcia Guano	7.6	LAI	56.41	A	190.90	A	5.47	A	19.04	A	3.86	A	6.1	M	5.0	M	68.0	A	9.8	M	28.87	4.93	M	0.71	B	4.19	B
6197	Agustina Liquinchana	7.7	LAI	60.77	A	255.26	A	1.85	A	28.20	A	3.79	A	12.4	A	11.8	A	98.0	A	11.4	A	23.84	4.80	M	2.05	B	11.89	B
6198	Luz Maiquiza	8.0	MeAI	55.68	A	28.63	A	1.72	A	19.61	A	4.39	A	2.8	B	4.8	M	26.0	M	8.0	M	25.72	4.47	M	2.55	M	13.95	M
6199	Gloria Toapanta	6.4	LAc	109.53	A	46.18	A	1.12	A	16.67	A	3.98	A	3.9	B	6.4	M	145.0	A	7.5	M	21.77	4.19	M	3.55	M	18.44	M
6200	Asoc. Huapante	8.5	MeAI	109.53	A	268.91	A	13.35	A	13.87	A	4.58	A	6.5	M	4.3	M	150.	A	51.4	A	31.80	3.03	M	0.34	B	1.38	B
6201	Edelina Toapanta	6.8	PN	59.32	A	63.93	A	1.17	A	17.62	A	4.29	A	3.8	B	6.4	M	83.0	A	9.0	M	23.08	4.11	M	3.67	M	18.73	M
6202	Magdalena Quituaña	7.0	N	75.33	A	39.16	A	1.59	A	15.77	A	4.57	A	3.3	B	5.7	M	132.0	A	8.8	M	21.93	3.45	M	2.87	M	12.79	M
6203	Temistocles Galora	6.2	Lac	43.31	A	105.86	A	1.56	A	15.80	A	3.37	A	7.8	M	6.1	M	201.0	A	9.1	M	20.73	4.69	M	2.16	B	12.29	B
6204	Ma.Rosario Tigse Moposita	6.7	PN	46.95	A	321.57	A	2.08	A	17.85	A	12.70	A	11.6	A	6.1	M	89.0	A	8.5	M	32.63	1.41	B	6.11	M	14.69	M
6205	Ma. Teresa Remache	7.1	PN	22.20	M	163.57	A	1.75	A	14.96	A	3.54	A	7.3	M	5.9	M	176.0	A	8.3	M	20.25	4.23	M	2.02	B	10.57	B
6206	Rosa Toapante	7.5	LAI	98.62	A	214.30	A	2.05	A	18.39	A	4.83	A	4.9	M	10.4	A	59.0	A	15.1	A	25.27	3.81	M	2.36	B	11.33	B
6207	Salomé Toapante	6.5	PN	59.32	A	136.87	A	1.62	A	17.22	A	4.02	A	7.3	M	11.7	A	349.0	A	23.5	A	22.86	4.28	M	2.48	B	13.11	M
6208	Esperanza Tituaña Guano	7.8	LAI	101.53	A	39.16	A	1.15	A	21.78	A	3.12	A	6.0	M	11.1	A	68.0	A	18.2	A	26.05	6.98	M	2.71	M	21.65	M
6209	Juliana Moposita	7.5	LAI	94.98	A	206.50	A	1.75	A	19.45	A	3.95	A	7.8	M	10.6	A	231.0	A	24.5	A	25.15	4.92	M	2.26	B	13.37	M
6210	Jorge Jaya	5.8	MeAc	79.69	A	198.70	A	1.34	A	15.81	A	3.91	A	6.4	M	12.3	A	455.0	A	34.3	A	21.06	4.04	M	2.92	M	14.72	M
6211	Zoila Pujos	8.6	Al	87.70	A	302.07	A	16.16	A	19.64	A	5.28	A	12.7	A	5.1	M	162.0	A	61.7	A	41.08	3.72	M	0.33	B	1.54	B
6212	Anibal Llanganate	7.8	LAI	546.00	A	9.91	B	23.48	A	11.47	A	27.54	A	52.0	A	258.0	B	20.0	B	6.5	M	62.49	0.42	B	1.17	B	1.66	B
6213	Asoc. Abapp	4.9	Mac RC	160.48	A	261.11	A	8.29	A	11.30	A	4.48	A	3.1	B	2.5	M	85.0	A	17.1	A	24.07	2.52	M	0.54	B	1.90	B

8. ANEXO 4. Informe de análisis de suelos digitalizado.

Tabla 8.2. Informe de análisis de suelos digitalizado.

#	No. MUESTRA	PROPIETARIO	UBICACIÓN	CULTIVO ACTUAL	CULTIVO ANTERIOR	FECHA MUESTREO	ANALISIS SOLICITADO	CODIGO
1	6180	Lourdes Cortes	CRUZ 1	papa		1/10/2019	SUELO 3	
2	6181	Petrona Sisa	CRUZ 1	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
3	6182	Alfonso Galora	CRUZ 1	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
4	6183	Elena Toapanta	CRUZ 1	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
5	6184	Rosa Maiquiza	CRUZ 1	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
6	6185	Zoila Pujos	CRUZ 1	Mora		1/10/2019	SUELO 3	
7	6186	Elena Tigse	CRUZ 1	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
8	6187	Maria Soledad Ortega	CRUZ 1	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
9	6188	Lourdes Hurtado	CRUZ 1	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
10	6189	Anita Ortega	CRUZ 1	Cebolla		1/10/2019	SUELO 3	
11	6190	Maria Anelina Chicaiza	YUGSICHE BAJO	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
12	6191	Marina Liquinchana	YUGSICHE BAJO	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
13	6192	Miguel A. Ortega	YUGSICHE BAJO	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
14	6193	Teresa Ugsha	YUGSICHE BAJO	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
15	6194	Zenaida Chicaiza	YUGSICHE BAJO	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
16	6195	Nicolas Tuso	YUGSICHE BAJO	papa		1/10/2019	SUELO 3	
17	6196	Marcia Guano	YUGSICHE BAJO	tomate arbol		1/10/2019	SUELO 3	
18	6197	Agustina Liquinchana	YUGSICHE BAJO	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
19	6198	Luz Maiquiza	YUGSICHE BAJO	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
20	6199	Gloria Toapanta	YUGSICHE BAJO	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
21	6200	Asoc. Huapante	YUGSICHE BAJO	Bocashi		1/10/2019	SUELO 3	
22	6201	Edelina Toapanta	YUGSICHE BAJO	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
23	6202	Magdalena Tituaña	YUGSICHE BAJO	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
24	6203	Temistocles Galora	YUGSICHE BAJO	hortalizas		1/10/2019	SUELO 3	
25	6204	Ma.Rosario Tigse Moposita	CRUZ 2	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
26	6205	Ma. Teresa Remache	CRUZ 2	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
27	6206	Rosa Toapante	CRUZ 2	tomate inver.		1/10/2019	SUELO 3	
28	6207	Salomé Toapante	CRUZ 2	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
29	6208	Esperanza Tituaña Guano	CRUZ 2	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
30	6209	Juliana Moposita	CRUZ 2	policultivos		1/10/2019	SUELO 3	
31	6210	Jorge Jaya	CRUZ 2	papa		1/10/2019	SUELO 3	
32	6211	Zoila Pujos	CRUZ 2	Bocashi		1/10/2019	SUELO 3	
33	6212	Anibal Llanganate	CRUZ 2	Biofermento líquido		1/10/2019	SUELO 3	BIOL
34	6213	Asoc. Abapp	CRUZ 2	Biofermento líquido		1/10/2019	SUELO 3	BIOL

8. ANEXO 5. Software de caracterización de la cromatografía.

GUIDE_SUELO_1

CROMATOGRAFÍA DE SUELO



**Universidad
Técnica de
Cotopaxi**



	ppm - meq/ml	%
" N "	142	68
" P "	98	45
" K "	0.94	38

DATOS INFORMATIVOS

NUMERO DE MUESTRA: 6192

UBICACION: YUGSICHÉ BAJO

CULTIVO ACTUAL: Policultivos

COMPONENTES QUIMICOS

pH: 6.4 EN RANGO

E Bases	Ca / Mg	Mg / K	(Ca+Mg) / K
23.35	4.45	4.37	23.84

ZONA CENTRAL

RANGO: 0 - 0.8

ZONA INTERNA

RANGO: 0.8 - 3.4	
N: 142	Mn: 8
P: 90.8	Cu: 7.7
K: 0.94	Fe: 98
Ca: 18.3	Zn: 2.9
Mg: 4.11	

ZONA INTERMEDIA

RANGO: 3.4 - 4.6

MO: 2.41

APLICAR ABONO DE CUY 8 DIAS ANTES DE LA SIEMBRA, PARA ABONAR 1000 m² SE NECESITAN 40 SACOS

USAR SULFATO DE POTASIO PARA MEJORAR EL APROVECHAMIENTO DE MACRO Y MICRO NUTRIENTES 20 KG PARA 1000 m²

NOTA:

LA RECOMENDACION ESTA GENERALIZADA PARA CEREALES

RESISTIVIDAD

TERRAPLENES CULTIVABLES POCO FERTILES, TERRAPLENES

WENNER	400
SCHLUMBERGUER	416.91

ZONA EXTERNA

RANGO: 4.6 - 6.4

Figura 8.21. Caracterización de la Cromatografía.

8. ANEXO 6. Diseño de SPT por la norma IEEE STD. 80.

IEEE_80

SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA IEEE 80



**Universidad
Técnica de
Cotopaxi**

DISTANCIA ENTRE PICAS

LONGITUD DE PICA

RESISTENCIA DEL TERRENO

TIPO TERRENO

RESISTIVIDAD

WENNER SCHLUMBERGUER

CUADRANGULARES

CORRIENTE DE DISEÑO

IC

DURACION DESCARGA

DC

CORRIENTE DISEÑO

SECCIÓN Y DIAMETRO DEL CONDUCTOR

Tm

Ta

SC

COMERCIAL

SECCION CONDUCTOR

DIAMETRO CONDUCTOR

SECCION NORMALIZADA CONDUCTOR

TENSIONES DE PASO Y TOQUE

RESISTIVIDAD CAPA SUPERFICIAL

GROSOR CAPA SUPERFICIAL 0.1-0.3

FACTOR DE REDUCCIÓN SUPERFICIAL

PESO 50-KG

TENSIÓN DE PASO

TENSIÓN TOQUE

GEOMETRIA DE LA MALLA

LOGITUD_VARILLA

NUMERO_VARILLAS

LONGITUD_X

LONGITUD_Y

SEPARACION

N

M

PERIMETRO

LONGITUD INTERNA

LONGITUD TOTAL CONDUCTOR

RESISTENCIA DE MALLA

AREA DE LA MALLA

PRINFUNDIDAD DE LA MALLA

RESISTENCIA DE MALLA

CORRIENTE DE MALLA

CORRIENTE-FALLA

FACTOR_DIVISION

FACTOR_DECREMENTO

CORRIENTE DE MALLA

COEFICIENTES

NUMERO DE CONDUCTORES

TRANSVERSALES

LONGITUDINALES

PRINFUNDIDAD DE LA MALLA

SEPARACION-CONDUCTORES

DIAMETRO-CONDUCTOR

kii

kh

km

ki

ks

TENSIONES DE DISEÑO

TENSION MALLA

TENSION PASO

VERIFICACION DISEÑO

TENSION DE PASO (Es) < TENSION DE PASO (Es)

TENSION DE MALLA (Em) < TENSION DE TOQUE (Et)

RESISTENCIA MALLA (Rg) < 5 Ω

Figura 8.22. Interfaz para el diseño de un SPT.

8. ANEXO 7. Fórmulas para calcular la resistencia de puesta a tierra.

Símbolo	Descripción	Fórmula
	Hemisferio, radio a	$R = \frac{\rho}{2\pi a}$
•	Varilla Longitud L, radio a	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
• •	Dos varillas S > L separación s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right)$
• •	Dos varillas S < L separación s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
—	Alambre horizontal enterrado Longitud 2L, profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
L	Alambre en ángulo recto Longitud de un lado L Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0.2373 + 0.2146 \frac{s}{L} + 0.1035 \frac{s^2}{L^2} - 0.0424 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
	Estrella de tres puntas Longitud de un lado L Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 1.071 - 0.209 \frac{s}{L} + 0.238 \frac{s^2}{L^2} - 0.054 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
+	Estrella de cuatro puntas Longitud de lado L Profundidad 2/s	$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2.912 - 1.071 \frac{s}{L} + 0.645 \frac{s^2}{L^2} - 0.145 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
	Estrella de seis puntas Longitud de lado L Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 6.851 - 3.128 \frac{s}{L} + 1.758 \frac{s^2}{L^2} - 0.409 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
	Estrella de ocho puntas Longitud de lado L Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 10.98 - 5.51 \frac{s}{L} + 3.26 \frac{s^2}{L^2} - 1.17 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
○	Anillo de alambre Diámetro del anillo D Diámetro del alambre d Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{s} \right)$
—	Placa enterrada horizontalmente Longitud 2L, sección a por b, profundidad s/2 b < a/8	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
●	Placa redonda enterrada horizontalmente radio a profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7a^2}{12s^2} + \frac{33a^4}{40s^4} \dots \right)$
	Placa redonda enterrada verticalmente radio a profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7a^2}{24s^2} + \frac{99}{320} + \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$

Figura 8.23. Fórmulas para calcular la resistencia de SPT en distintas configuraciones [19].

8. ANEXO 8. Toma de datos de la resistencia medida con telurómetro.

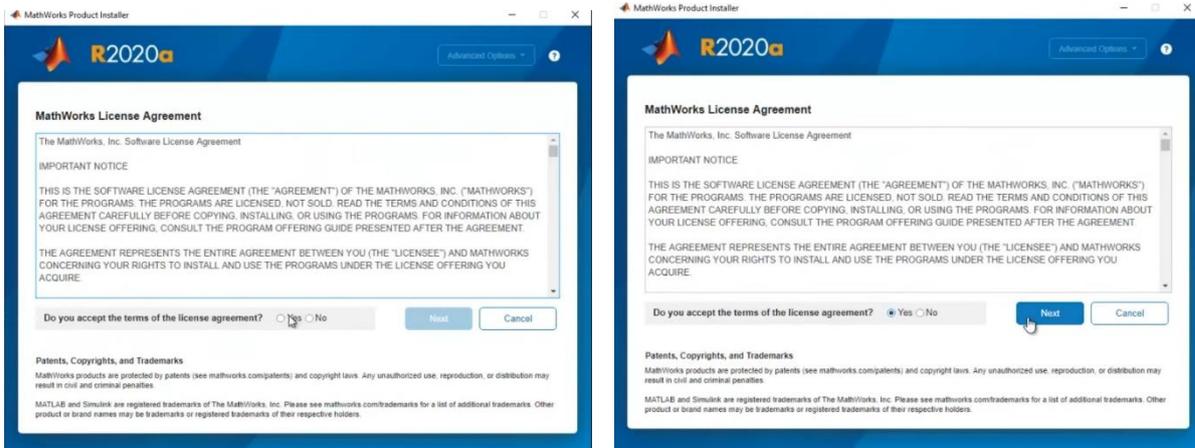


Figura 8.24. Medición del terreno y enterrado de electrodos (método de Wenner).

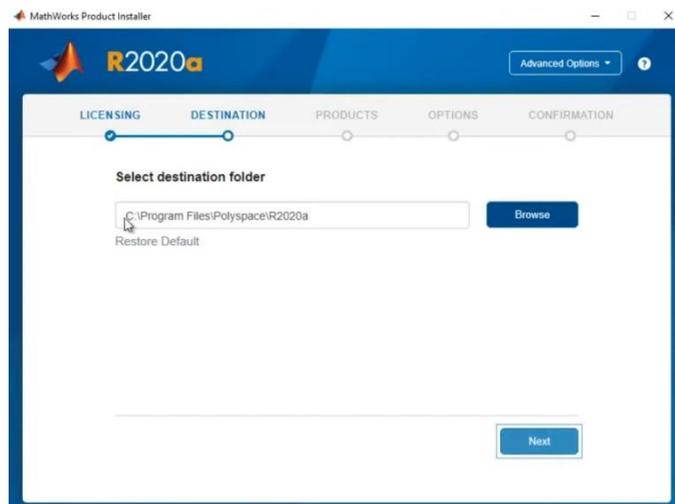


Figura 8.25. Colocando el telurómetro en la opción 4 pole y resultado de la medición.

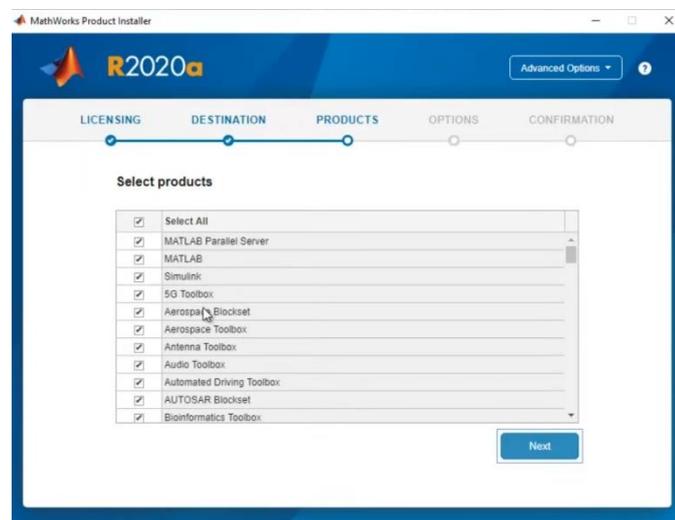
Seleccionamos “Yes” y haga clic en “Next”



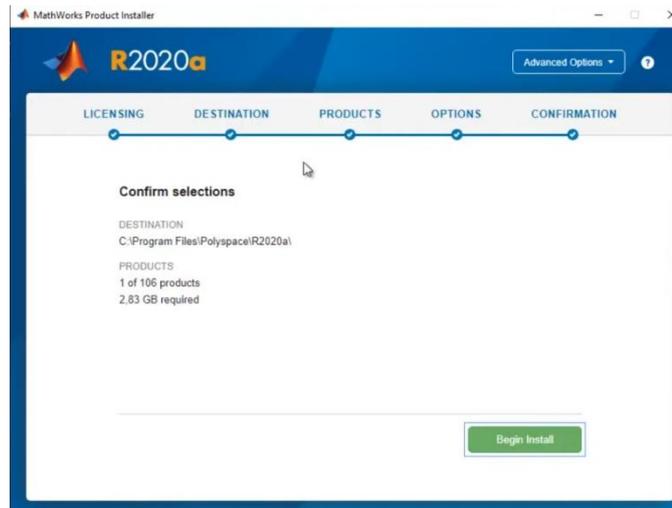
3. Se designa la ruta de la carpeta donde se va a instalar el programa y damos en “Next”.



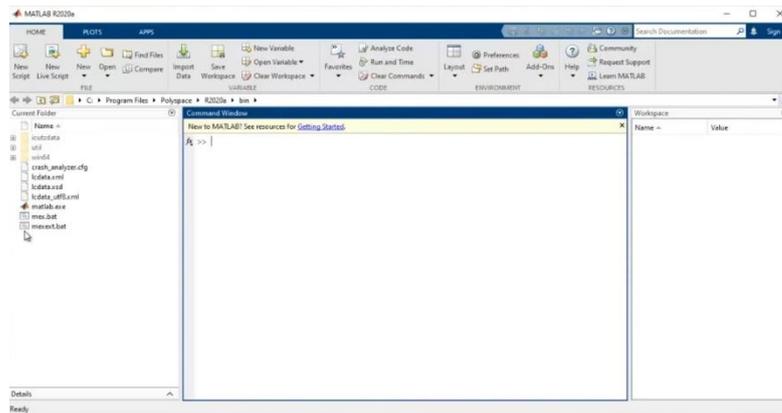
4. En este caso solo vamos a seleccionar Matlab y Simulink que son las herramientas que se utilizan.



Se muestra el tamaño de los archivos que se van a instalar.



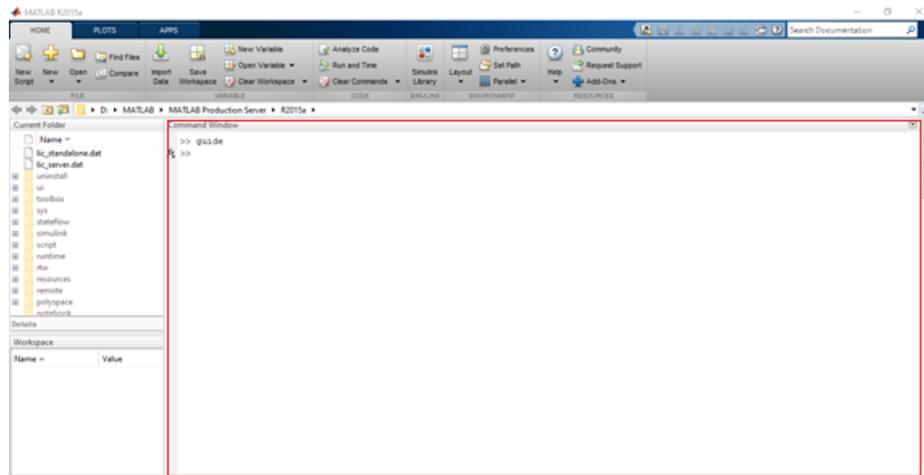
5. Abrimos el programa y verificamos que funcione correctamente.



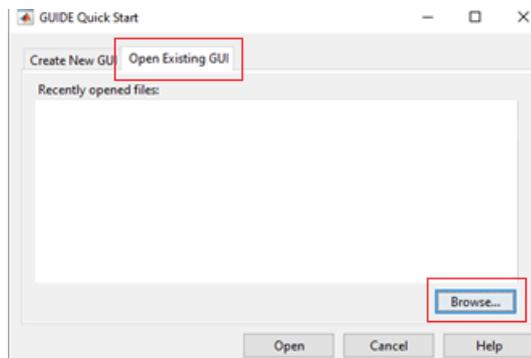
8. ANEXO 10. Manual de uso del software.

A continuación, se indica la guía para que el usuario tenga conocimiento del programa utilizado:

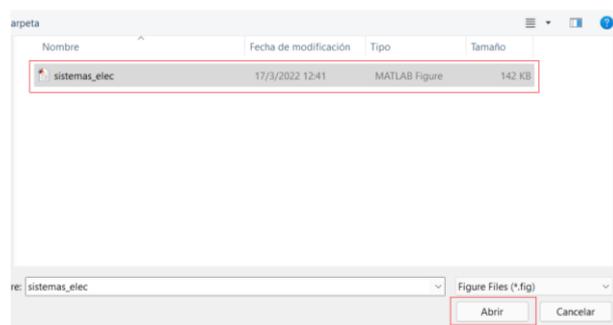
1. Iniciamos Matlab y en la ventana de Comando Window, se escribe “guide” y luego se aplasta “Enter”.



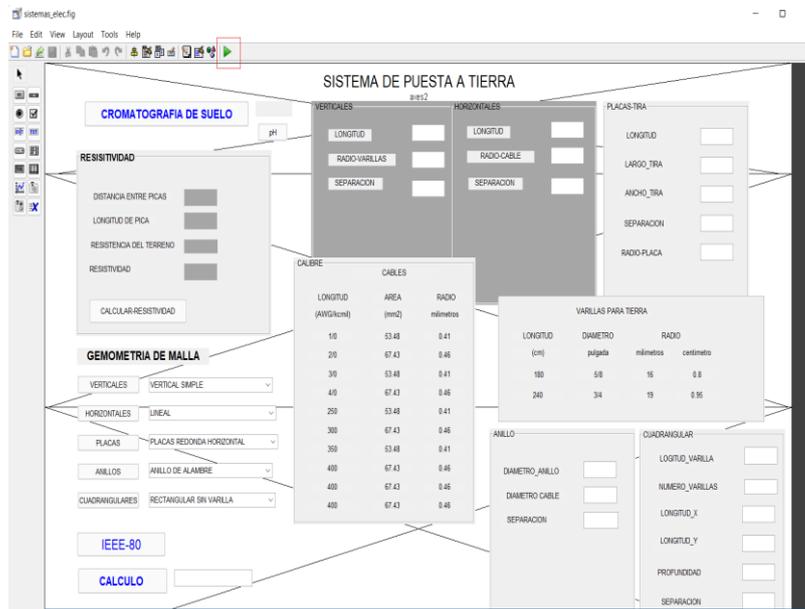
A continuación, se desplegará una ventana donde haremos clic en la pestaña “Open Existing GUIDE”



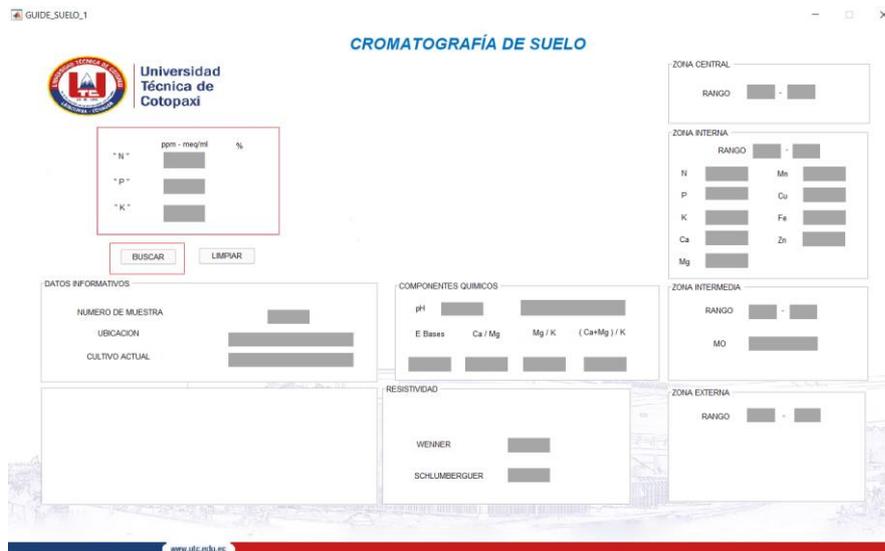
2. Ingresamos en “Browse” y se despliega una ventana que seleccionará la carpeta donde se encuentra el archivo del programa, lo seleccionamos y “clic” en abrir.



3. Se abrirá el programa y damos “clic”, en el botón “RUN”.



4. Al ejecutar el programa se despliega otra pantalla, donde se ingresaran los datos de caracterizacion del suelo, Nitrogen (N), Potasio (K), Fosforo (P) y se procede a buscar.



El programa le muestra la composición del suelo con sus características correspondientes, como el rango de cada una de las zonas que conforman el cromatograma, así como los componentes químicos que se encuentran en él. Además muestra indicaciones de cómo mejorar la calidad del suelo con componentes orgánicos que no sean contaminantes y perjudiciales, como también nos indica la resistividad por el método de Wenner y de Schlumberger.

5. Para ingresar al apartado de IEEE-80, se da “clic” en el botón como se muestra a continuación, el cual le llevara a la ventana de la norma.



6. Aquí encontrará el diseño para un SPT planteado por la norma IEEE Std. 80, en donde el diseño que se ingrese le dará como resultado un diseño correcto o incorrecto.

La imagen muestra la interfaz de usuario de un software titulado "SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA IEEE 80". El software pertenece a la Universidad Técnica de Cotopaxi. La interfaz está organizada en varios paneles de configuración:

- CORRIENTE DE DISEÑO:** Incluye campos para "IC" y "DURACION DESCARGA".
- SECCIÓN Y DIÁMETRO DEL CONDUCTOR:** Incluye campos para "Tm", "Ta", "SC", "SECCION CONDUCTOR", "DIÁMETRO CONDUCTOR" y "SECCION NORMALIZADA CONDUCTOR".
- TENSIONES DE PASO Y TOQUE:** Incluye campos para "RESISTIVIDAD CAPA SUPERFICIAL", "GROSOR CAPA SUPERFICIAL 0.1-0.3", "FACTOR DE REDUCCIÓN SUPERFICIAL", "PESO 50-KG", "TENSION DE PASO" y "TENSION TOQUE".
- GEOMETRIA DE LA MALLA:** Incluye campos para "LOGITUD VARILLA", "NUMERO VARILLAS", "LOGITUD X", "LOGITUD Y", "SEPARACION", "N" y "M".
- RESISTENCIA DE MALLA:** Incluye campos para "AREA DE LA MALLA", "PRINFUNDIDAD DE LA MALLA" (con un botón "MODIFICAR") y "RESISTENCIA DE MALLA".
- CORRIENTE DE MALLA:** Incluye campos para "CORRIENTE FALLA", "FACTOR_DIVISION", "FACTOR_DECREMENTO" y "CORRIENTE DE MALLA".
- COEFICIENTES:** Incluye un "NUMERO DE CONDUCTORES" y campos para "TRANSVERSALES", "LONGITUDINALES", "PRINFUNDIDAD DE LA MALLA", "SEPARACION CONDUCTORES" y "DIÁMETRO CONDUCTOR" (con unidades: km, kh, km, ki, ks).
- TENSIONES DE DISEÑO:** Incluye campos para "TENSION MALLA" y "TENSION PASO".
- VERIFICACION DISEÑO:** Muestra fórmulas de verificación: $TENSION DE PASO (E_p) < TENSION DE PASO (E_n)$ y $TENSION DE MALLA (E_m) < TENSION DE TOQUE (E_t)$, así como un campo para "RESISTENCIA MALLA (R_g) < 50".

En la parte inferior izquierda, hay un botón "CALCULAR" resaltado con un recuadro rojo y un botón "LIMPIAR" debajo de él.

Para el diseño del sistema de puesta a tierra, primero se deberá ingresar los datos para el modelado del terreno, luego se procederá a ingresar los demás parámetros como la corriente de diseño, sección y diámetro del conductor, tensiones de toque y paso y la geometría de la malla.