



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA LÍNEA DE
SUBTRANSMISIÓN AMBATO – SAMANGA Y SAMANGA - PILLARO A 69 KV
PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO PARA PROPONER
ALTERNATIVAS QUE PERMITAN MEJORAR EL SISTEMA”**

Autores:

Johana Gabriela Chilibingua Taibe

Luis Ernesto Guanoluisa

Tutor:

Ing. Mg. Xavier Alfonso Proaño

Latacunga – Ecuador

Agosto – 2017

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 INGENIERIA Y APLICADAS.; por cuanto, los postulantes: **CHILQUINGA TAIPE JOHANA GABRIELA** y **GUANOLUISA LUIS ERNESTO**, con el título de Proyecto de titulación: “**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN AMBATO – SAMANGA Y SAMANGA - PILLARO A 69 KV PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO PARA PROPONER ALTERNATIVAS QUE PERMITAN MEJORAR EL SISTEMA.**” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, 28 de Julio del 2017

Para constancia firman:



Lector 1 (Presidente)
PhD: Iliana González
CC: 1757070659



Lector 2
Mg. Franklin Vázquez
CC: 171043449-7



Lector 3
Mg. Carlos Saavedra
CC: 1802248425



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Eléctrica

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN AMBATO – SAMANGA Y SAMANGA - PILLARO A 69 KV PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO PARA PROPONER ALTERNATIVAS QUE PERMITAN MEJORAR EL SISTEMA”, de **Johana Gabriela Chilingua Taipe y Luis Ernesto Guanoluisa**, 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 Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Julio del 2017

El Tutor

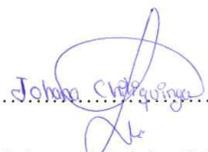
Ing. Mg. Xavier Alfonso Proaño Maldonado

C.I. 050265642-4

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Johana Gabriela Chilibingua Taipe** y **Luis Ernesto Guanoluisa** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN AMBATO – SAMANGA Y SAMANGA - PILLARO A 69 KV PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO PARA PROPONER ALTERNATIVAS QUE PERMITAN MEJORAR EL SISTEMA”**, siendo **Ing. Mg. Xavier Alfonso Proaño Maldonado** director 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 mi exclusiva responsabilidad.



.....

Johana Gabriela Chilibingua Taipe

C.I. 050315592-1



.....

Luis Ernesto Guanoluisa

C.I. 050286430-9



EMPRESA ELECTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.

Trabajando con energía..!

CERTIFICADO DE AVAL

En calidad de Director del Departamento de Subtransmisión, de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., certifico que los señores estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi: Chiliquina Taípe Johana Gabriela, portador de la cédula de ciudadanía N° 050315592-1; y, Guanoluisa Luis Ernesto, portador de la cédula de ciudadanía N° 050286430-9, realizaron el proyecto de investigación:

“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN AMBATO – SAMANGA Y SAMANGA - PILLARO A 69 KV PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO PARA PROPONER ALTERNATIVAS QUE PERMITAN MEJORAR EL SISTEMA”.

Cumpliendo todos los lineamientos y requerimientos establecidos en el área técnica, con información y dotación de equipos, utilizados en la investigación.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, faculto a los interesados hacer uso de este documento en forma de que estimen conveniente.

Ambato, Julio 27 del 2017

Atentamente

Ing. Héctor Barrera
DIRECTOR DE SUBTRANSMISION
CE/jch



AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecer a Dios, a la Virgencita del Cisne y mi Niñito por darme la oportunidad de alcanzar mi sueño.

A la Empresa Eléctrica Ambato, de manera especial al Ingeniero Héctor Barrera, por ayudarnos con el proyecto de investigación.

JOHANA

AGRADECIMIENTO

Lo más importante que uno tiene es la vida, por eso mi agradecimiento a Dios dueño de todo lo que existe, y por haberme regalado la dicha de tener una madre quien siempre me apoyó en las buenas y en las malas hasta llegar a cumplir una meta en la vida, este proyecto es resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos el grupo de trabajo. Mi agradecimiento a todas las personas que nos apoyaron en la realización de este proyecto. A nuestro tutor, Ing. Xavier Proaño, quien, a lo largo de este tiempo, nos brindó su apoyo incondicional.

Finalmente, un eterno agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi la cual me abrió sus puertas y permitirme terminar mis estudios.

ERNESTO

DEDICATORIA

A mis padres Segundo Chilinga y Carmita Taipe por ser el pilar fundamental en mi vida y brindarme su confianza, cariño y apoyo económico en mis estudios.

A mi sobrinito José Miguel por ser un ángel que vino a mi vida y dar el impulso en esta etapa profesional.

A Javier por brindarme su comprensión y apoyo incondicional en esta etapa de mi vida y ser un ejemplo de superación y responsabilidad.

JOHANA

DEDICATORIA

Dedico este Proyecto de Investigación a mi madre Ignacia Guanoluisa y a mi esposa Carmen Pullotasig, quienes fueron mi apoyo fundamental para culminar mis estudios, quienes nunca dejaron de apoyarme y creer en mí depositando su confianza en cada reto que me proponía sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad.

Además, dedico este trabajo a mis hijas: Danna y Andrea quienes son la razón de mi vida, por último, a todas las personas que me apoyaron para consecución de un término feliz de este proyecto.

ERNESTO

ÍNDICE

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	¡Error! Marcador no definido.
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA	viii
ÍNDICE.....	x
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xviii
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	3
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
6. OBJETIVOS:.....	4
Objetivo General.....	4
Objetivo Especifico	4
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	5
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	6
PUESTA A TIERRA	6
REQUISITOS BÁSICOS DE UNA PUESTA A TIERRA.....	7
COMPONENTES DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	8
Resistencia del electrodo:	8

Resistencia de contacto entre el electrodo y el suelo:	8
Resistencia de la tierra circundante:	8
VALORES RECOMENDADOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	9
RESISTIVIDAD DEL SUELO	9
Factores que influyen en la resistividad del terreno.	10
IMPORTANCIA EN LA MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	11
MÉTODOS DE PRUEBA BÁSICOS PARA MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA A TIERRA Y RESISTIVIDAD DEL TERRENO	12
Medida de la RPT mediante medidor tipo pinza	12
Método de Wenner para medición de resistividad del terreno	14
Recomendaciones Generales para efectuar las Mediciones	15
SUELOS ARTIFICIALES	16
Características de un suelo artificial	17
MEJORAMIENTO Y MANTENIMIENTO	17
TECNICAS DE MEJORAMIENTO DE PUESTA A TIERRA	18
Instalación de contrapesos	18
Aumento del número de electrodos	19
Tratamiento del terreno	20
Hacer rellenos:	21
a) Relleno con sales	21
b) Con carbón vegetal o mineral:	21
c) Con suelos artificiales y geles	21
PLAN DE MANTENIMIENTO	22
Acciones posibles que ejecutar en el Mantenimiento Preventivo.	23
NORMAS QUE RIGEN EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	24
Código Eléctrico Nacional ecuatoriano	24

Normativa IEEE Std 80-2000.	24
Normativa IEEE Std 142 – 2007.	24
9. HIPÓTESIS	25
10. METODOLOGÍA	25
TIPOS DE LA INVESTIGACIÓN.	25
Bibliográfica	25
De Campo	26
NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	26
Descriptiva	26
Explicativa	26
MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN.	27
Método hipotético-inductivo.	27
INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.	27
Fichas de Observación de Campo	27
TECNICAS	27
INSTRUMENTOS	27
Investigación documental.....	27
• Marco teórico	27
• Bibliografía escrita existente	27
Investigación de campo	27
• Equipos de medición (Teluometro, Megger).....	27
• Fichas técnicas (Hoja de estacamiento)	27
Observación.....	27
11. DESARROLLO DE LA PROPUESTA	27
EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	27
Introducción	27

CONDICIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	28
Antecedentes	28
Levantamiento del sistema de puesta a tierra	29
Diagnóstico del sistema de puesta a tierra actual	29
MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA Y RESISTIVIDAD DEL TERRENO DE LAS ESTRUCTURAS DE LA LINEA 69KV AMBATO- SAMNGA Y SAMANGA PILLARO	32
Medida de resistencia de puesta a tierra	32
Medida de Resistividad del terreno	34
ANÁLISIS DE RESULTADOS	38
Análisis de la resistencia de puesta a tierra	38
Análisis de la resistividad del suelo	41
Evolución de la Resistividad del Suelo asociado a la Estructura de la Línea	42
CATEGORIZACIÓN SEGÚN LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO SEGÚN EL VALOR DE RESISTIVIDAD	44
ANÁLISIS Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN	46
1 varilla de puesta a tierra	46
2 varillas de puesta a tierra	47
1 varilla con contrapeso	47
1 varilla con mejoramiento de suelo	47
ALTERNATIVAS ADICIONALES PARA EL MEJORAMIENTOS DE LOS SPT ..	50
Tres varillas conectadas linealmente (R_{3var}):	51
Cuatro varillas conectadas linealmente (R_{4var}):	51
Aro de cable:	51
12. IMPACTO TÉCNICO	54
13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO	55
ANÁLISIS ECONÓMICO	55

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS DIFERENTES PROPUESTAS	55
Una varilla enterrada verticalmente.	56
Dos varillas conectadas en paralelo y enterradas verticalmente	57
Una varilla enterrada verticalmente más dos contrapesos	58
Una varilla enterrada verticalmente con mejoramiento del suelo	59
ANÁLISIS FINANCIERO	60
PRESUPUESTO GENERAL.....	60
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:.....	62
15. BIBLIOGRAFÍA:	64
16. ANEXOS	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividad y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.....	5
Tabla 2. Valores de referencia para Resistencia de puesta a tierra.....	9
Tabla 3. Tipos de suelo y su resistividad.....	11
Tabla 4. Máximo período entre mantenimientos de un SPT	22
Tabla 5. Plan de mantenimiento de un SPT (sistema de puesta a tierra).....	23
Tabla 6. Ficha de Observación de Campo	27
Tabla 7. Valores de resistencia de puesta a tierra línea de Subtransmisión S/E Ambato - S/E Samanga.	33
Tabla 8. Valores de resistencia de puesta a tierra línea de Subtransmisión S/E Samanga - S/E Pillaro	33
Tabla 9. Mediciones de RPT Línea Ambato-Samanga	35
Tabla 10. Mediciones de RPT Línea Samanga-Pillaro.....	36
Tabla 11. Tabla de medición del SPT actual de la línea Ambato - Samanga.....	39
Tabla 12. Valores de medición del SPT actual de la línea Samanga - Pillaro.....	40
Tabla 13. Distribución de los sectores por zonas S/E Ambato – S/E Samanga.	41
Tabla 14. Distribución de los sectores por zonas S/E Samanga – S/E Pillaro.....	41
Tabla 15. Resumen de los problemas existentes en la trayectoria de la línea S/E Ambato-S/E Samanga.....	42
Tabla 16. Resumen de los problemas existentes en la trayectoria de la línea S/E Samanga-S/E Pillaro.....	42
Tabla 17. Categorización según tipo del suelo Línea Ambato – Samanga	44
Tabla 18. Categorización según tipo del suelo Línea Samanga – Pillaro.....	45
Tabla 19. Resultados de RPT de la Línea Ambato - Samanga.....	48
Tabla 20. Resultados de RPT de la Línea Samanga – Pillaro	49
Tabla 21. Propuestas adicionales de SPT de la Línea Ambato - Samanga	51

Tabla 22. Propuestas adicionales de SPT de la Línea Ambato - Samanga	52
Tabla 23. Costos unitarios de mano de obra y otros por día.	55
Tabla 24. Costos unitarios de materiales.	55
Tabla 25. Costos de implementación de la configuración una varilla enterrada verticalmente.....	56
Tabla 26. Costos de implementación de la configuración dos varillas conectadas en paralelo y enterrada verticalmente	57
Tabla 27. Costos de implementación de la configuración una varilla enterrada verticalmente más dos contrapesos.....	58
Tabla 28. Costos de implementación de la configuración una varilla enterrada verticalmente con mejoramiento del suelo.	59
Tabla 29. Resumen de costos para cada configuración.	60
Tabla 30. Detalle de materiales para cada configuración.	61
Tabla 31. Presupuesto general.	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Instalación de Puesta a Tierra	6
Figura 2. Componentes de la Resistencia de Puesta a Tierra.	8
Figura 3. Medición de la RPT utilizando pinza.....	12
Figura 4. Circuito Equivalente para un SPT en más de un Punto.	13
Figura 5. Medición de la resistividad del terreno por el método de Wenner	14
Figura 6. Electrodo de corriente y potencial a 90° entre sí.....	15
Figura 7. Instalación de contrapeso en varilla de puesta tierra enterrada verticalmente	18
Figura 8. Circuito equivalente de contrapeso en varilla de puesta a tierra enterrada verticalmente.	19
Figura 9. Zonas de interferencia (traslape).....	19
Figura 10. Aplicación de sales alrededor del electrodo.....	21
Figura 11. Estructuras sin puesta a tierra	29
Figura 12. Conductor de tierra existente cable acerado	30
Figura 13. Conexiones en mal estado.....	30
Figura 14. Conductor de puesta a tierra roto.	31
Figura 15. Trayecto de la línea sin franja de servidumbre	31
Figura 16. Disposición de equipo para medición	32
Figura 17. Disposición y conexión de picas para medición	34

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Perfil de resistividad del suelo de la línea S/E Ambato - S/E Samanga.....	42
Gráfico 2. Perfil de resistividad del suelo de la línea S/E Samanga - S/E Pillaro.....	42

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

TITULO: “EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN AMBATO – SAMANGA Y SAMANGA - PILLARO A 69 KV PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO PARA PROPONER ALTERNATIVAS QUE PERMITAN MEJORAR EL SISTEMA”

Autores: Johana Gabriela Chilibuina Taipe
Luis Ernesto Guanoluisa

RESUMEN

La presente investigación contiene un diagnóstico de la situación actual de los sistemas de puesta a tierra de las estructuras de las líneas de Subtransmisión a 69 KV. Ambato – Samanga y Samanga – Pillaro que tiene una longitud de 7,133 Km.

Para este trabajo se realizó una recopilación de información de cada una de las estructuras plasmada en una hoja de estacamiento, posteriormente se realizaron mediciones de resistencia de puesta a tierra y la resistividad del suelo de cada una de las estructuras, definiendo las zonas específicas a lo largo de la trayectoria, para lo cual se utilizaron equipos como el Megger DET24C Digital Earth Clamp y el Teluometro The Digital Ground Resistance Tester Model 4500. Además, se identificó las estructuras que no poseen puesta a tierra y algunas que tienen problemas por corte del cable en la trayectoria hacia el electrodo de puesta a tierra.

Una vez analizado las mediciones se pudo concluir que algunas estructuras no presentan un valor de resistencia de puesta a tierra recomendado por normas que es de 20 ohm para líneas de Subtransmisión. Se analizaron propuestas que permitan a estas estructuras alcanzar el valor recomendado.

Por lo tanto, se realizó un análisis económico de cada una de las propuestas para identificar cuál de ellas es la más económica y más factible técnicamente, determinándose que la incorporación de contrapesos y la disposición de un electrodo vertical son la más técnicamente y económicamente factible.

Finalmente se recomendó que las propuestas planteadas sean analizadas para su posterior ejecución a corto plazo, ya que esto permitiría a la Empresa Eléctrica Ambato garantizar la seguridad de personas, animales y equipos eléctricos ante una perturbación en el sistema eléctrico y requiera un adecuado funcionamiento de los sistemas de puesta a tierra.

Palabras claves: Puesta a tierra, Electrodo, Estructura, Resistividad.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED

TITLE: "EVALUATION OF THE GROUNDING SYSTEM OF THE AMBATO - SAMANGA AND SAMANGA SUBTRANSMISSION LINE - PILLARO TO 69 KV BELONGING TO THE AMBATO ELECTRIC COMPANY TO PROPOSE ALTERNATIVES THAT PERMIT TO IMPROVE THE SYSTEM"

ABSTRACT

The present investigation contains a diagnosis of the present situation of the systems of ground of the structures of the lines of Subtransmission to 69 KV. Ambato - Samanga and Samanga - Pillaro which has a length of 7,133 Km.

For this work a collection of information of each one of the structures was carried out in a stacking sheet, afterwards measurements of ground resistance and the resistivity of the soil of each one of the structures were made, defining the specific zones to the Along the trajectory, using equipment such as the Megger DET24C Digital Earth Clamp and the Teluometro The Digital Ground Resistance Tester Model 4500. In addition, there were identified structures that do not have earthing and some that have problems by cutting the cable In the path to the earthing electrode.

Once the measurements were analyzed it was possible to conclude that some structures do not have a standards recommended ground resistance value of 20 ohm for Subtransmission lines. Proposals were analyzed that allow these structures to reach the recommended value.

Therefore, an economic analysis of each of the proposals was made to identify which of them is the most economical and most technically feasible, being determined that the incorporation of counterweights and the provision of a vertical electrode are the most technically and economically feasible.

Finally, it was recommended that the proposed proposals be analyzed for their later implementation in the short term, as this would allow the Ambato Electric Company to guarantee the safety of people, animals and electrical equipment in the event of a disturbance in the electrical system and require an adequate functioning of the Grounding systems.

Key words: Earthing, Electrode, Structure, Resistivity



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

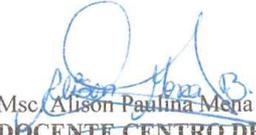
AVAL DE TRADUCCIÓN

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 presentado por los señores Egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas: **CHILQUINGA TAIPE JOHANA GABRIELA** con C.I.: **050315592-1** y **GUANOLUISA LUIS ERNESTO** con C.I.: **050286430-9**, cuyo título versa “**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN AMBATO – SAMANGA Y SAMANGA - PILLARO A 69 KV PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO PARA PROPONER ALTERNATIVAS QUE PERMITAN MEJORAR EL SISTEMA**”, 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 al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, julio del 2017

Atentamente,


Msc. Alison Paulina Mena Barthelotty
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 050180125-2

www.utc.edu.ec

PROYECTO DE TITULACIÓN

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN AMBATO – SAMANGA Y SAMANGA - PILLARO A 69 KV PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO PARA PROPONER ALTERNATIVAS QUE PERMITAN MEJORAR EL SISTEMA.

Fecha de inicio: 3 de abril del 2017

Fecha de finalización: 14 de julio del 2017

Lugar de ejecución: Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, Empresa Eléctrica Ambato

Facultad que auspicia: Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia: Ingeniería Eléctrica

Proyecto de investigación vinculado: Proyecto de la Carrera

Equipo de Trabajo:**Tutor:**

NOMBRES: Xavier Alfonso

APELLIDOS: Proaño Maldonado

TELÉFONO CELULAR: 0979645465

CORREO ELECTRÓNICO: xavierproaño@gmail.com

Coordinadores del Proyecto de Investigación:

NOMBRES: Johana Gabriela

APELLIDOS: Chilingua Taipe

TELÉFONO CELULAR: 0984959015

CORREO ELECTRÓNICO: johanachilingua@gmail.com

NOMBRES: Luis Ernesto

APELLIDOS: Guanoluisa

TELÉFONO CELULAR: 0983952774

CORREO ELECTRÓNICO: ernesto.guanoluisa9@gmail.com

Área de Conocimiento:

Sistemas Eléctricos de Distribución

Sistemas Eléctricos de Potencia

Línea de investigación:

Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Explotación y Diseño de Sistemas Eléctricos

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El propósito de la investigación es realizar una evaluación de las puestas a tierra de las estructuras de las líneas de Subtransmisión a 69 KV. Ambato – Samanga y Samanga - Pillaro, así como determinar los valores correspondientes de resistencia de puesta a tierra y resistividad del suelo para que sean analizados y comparados con normas técnicas correspondiente o que utilice la Empresa Eléctrica Ambato, que permita determinar si están dentro de los niveles tolerables por la misma, ya que es importante considerar que por la naturaleza del tipo de instalación requieren excelentes niveles de puesta a tierra y así mejorar la confiabilidad y seguridad de las líneas de Subtransmisión que son objeto de estudio.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Un sistema de puesta a tierra de cualquier tipo de instalación eléctrica, con el paso del tiempo se va deteriorando, así como sus conexiones, los elementos que lo componen y de la misma manera la resistividad del suelo donde se encuentra hecha la instalación, de ahí la justificación de este trabajo donde se realizara las mediciones de cada una de las estructuras que componen la línea de Subtransmisión a 69 KV. Ambato – Samanga y Samanga – Pillaro, mediciones que servirán para realizar una evaluación de las puestas a tierra de la línea en estudio.

El enfoque de este trabajo es brindar un diagnóstico de las condiciones actuales del sistema de puesta a tierra de las estructuras que conforman la línea el mismo que permita a mediano o largo plazo soluciones en función del diagnóstico realizado, buscando un enfoque de mantenimiento predictivo.

Por lo tanto, lo que se pretende en este trabajo es identificar en todas las estructuras los valores de resistencia de puesta a tierra y la resistividad del suelo, identificando las estructuras que sus valores de SPT están fuera de los límites permitidos, para este tipo de instalaciones eléctricas, que permita realizar una evaluación de las puestas a tierra de todas las estructuras para proponer soluciones que permita mejorar este indicador.

Además, los sistemas de puesta a tierra de la línea en estudio, no ha tenido un seguimiento que permita determinar el estado actual del sistema de puesta a tierra, de ahí la necesidad de la Empresa Eléctrica Ambato, en especial el departamento de Subtransmisión de contar con una evaluación del mismo para poder realizar las correcciones necesarias, y una planificación de mantenimiento predictivo.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los beneficiarios directos son los distintos tipos de abonados y la Empresa Eléctrica Ambato al tener un sistema más confiable y seguro que garantice la seguridad de las personas y de los animales, protección de las instalaciones y equipos sensibles que forman parte de la trayectoria de la línea de Subtransmisión Ambato - Samanga y Samanga - Pillaro.

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El problema fundamental radica en el desconocimiento de la situación actual de los SPT de las estructuras que conforman las líneas de Subtransmisión en análisis, ya que, no existen

antecedentes o registro de evolución de los valores de resistencia de puesta a tierra y resistividad del suelo desde que se construyeron las líneas.

La EEASA al no poseer un estudio de evolución de los SPT en las estructuras de la línea de Subtransmisión a 69 Kv Ambato – Samanga y Samanga – Pillaro, desconoce el deterioro de los elementos que forman parte de las puesta a tierra, los mismos que posiblemente alcanzaron su vida útil, provocando una disminución del grado de protección del SPT de las estructuras y elevando la posibilidad de un inadecuado funcionamiento de manera que no se posibilite el paso, al y desde el terreno, de corrientes con diferentes orígenes tales como desequilibrios eléctricos, sobretensiones de origen atmosférico, sobretensiones de maniobra o cargas estáticas, que pueden afectar a la seguridad de las personas y bienes.

6. OBJETIVOS:

Objetivo General

- Determinar los valores de resistencia de puesta a tierra y resistividad del suelo de las estructuras de la línea de Subtransmisión de 69 kV Ambato – Samanga y Samanga – Pillaro mediante la medición con el Megger en toda su trayectoria, para proponer soluciones que permitan mejorar el SPT.

Objetivo Especifico

- Recopilar información de la línea de S/T de 69 KV. y su trayectoria desde la S/E Ambato – Samanga y S/E Samanga - Pillaro.
- Medir los niveles de puesta a tierra de las estructuras y resistividad del suelo de la línea en estudio utilizando los equipos apropiados.
- Proponer alternativas que permitan mejorar el sistema de puesta a tierra, además evaluar técnica y económicamente las alternativas propuestas.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1: Actividad y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados

OBJETIVO	ACTIVIDAD (TAREAS)	RESULTADOS ACTIVIDAD	MEDIOS DE VERIFICACION
Recopilar información de la línea de S/T de 69 KV. y su trayectoria desde la S/E Ambato – Samanga y S/E Samanga - Pillaro.	Investigar las características de la línea en estudio tales como topología, trayectoria, tipos de estructuras, longitud y SPT.	<ul style="list-style-type: none"> • Trayectoria georeferenciada. • Vanos de longitudes entre estructuras. SPT de las estructuras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja de estacamiento. • Ficha gráfica.
Medir los niveles de puesta a tierra de las estructuras y resistividad del suelo de la línea en estudio utilizando los equipos apropiados.	Medir los valores de puesta a tierra y la resistividad del suelo en todas las estructuras.	Resistencia de puesta a tierra y resistividad del suelo donde se encuentran las estructuras.	Tablas de los valores de resistencia de puesta a tierra y resistividad del suelo.
Proponer alternativas que permitan mejorar el sistema de puesta a tierra, además evaluar técnica y económicamente las alternativas propuestas.	<ul style="list-style-type: none"> • Planificación de soluciones para mejorar el sistema de puesta a tierra de la línea • Análisis de los costos de la propuesta 	<ul style="list-style-type: none"> • Niveles de los valores de puesta a tierra con las soluciones planteadas. • Costos de las alterativas planteadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Tablas de valores del sistema diagnosticado y el propuesto • Cálculos de los costos de la propuesta

Realizado por: Autores

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

PUESTA A TIERRA

Una instalación de puesta a tierra está formada por uno a varios conductores metálicos (electrodos) unidos entre sí, enterrados en contacto directo con el terreno y conectados con la instalación eléctrica a través de la línea de tierra de manera que se posibilite el paso, al y desde el terreno, de corrientes con diferentes orígenes tales como desequilibrios eléctricos, sobretensiones de origen atmosférico, sobretensiones de maniobra o cargas estáticas, produciéndose en el terreno distribuciones de potencial que pueden afectar a la seguridad de las personas y bienes.

Los estudios de las instalaciones de puesta a tierra deben considerar:

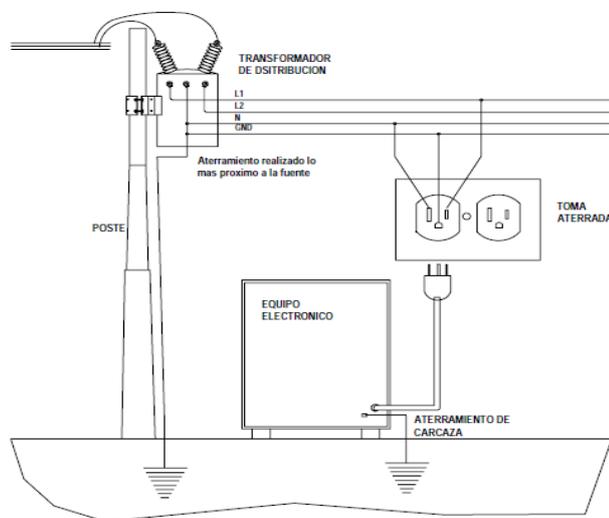
1. La seguridad de las personas y de los animales
2. La protección de las instalaciones
3. La protección de los equipos sensibles,

Para lo que es necesario conocer:

- a) Los elementos que forman las instalaciones
- b) La naturaleza de las diferentes corrientes que circulan
- c) Las respuestas de los elementos a estas corrientes

El terreno, teniendo en cuenta su heterogeneidad (rocas que lo forman, estratos, textura) y los factores que sobre él actúan (humedad, temperatura).

Figura 1. Instalación de Puesta a Tierra



Fuente: Coordinación de aislamiento en redes eléctrica de alta tensión

Seguridad de personas y animales.

Debe asegurarse en el interior de las instalaciones y en sus proximidades, limitando los valores de la tensión de paso y de contacto aplicada a valores no peligrosos, minimizando las tensiones transferidas por medio de conexiones equipotenciales.

Protección de las instalaciones.

Las tomas de tierra permiten la difusión de las que protegen los equipos de las sobretensiones, dependiendo el valor de la corriente del de la impedancia del circuito de la instalación de puesta a tierra.

Protección de equipos sensibles.

Estos equipos están sometidos, por vía de acoplamientos electromagnéticos, a los efectos de las sobretensiones en las instalaciones, en función de la disposición de los conductores de tierra y de sus propios circuitos de tierra. (Martínez, 2007, pág. 177)

REQUISITOS BÁSICOS DE UNA PUESTA A TIERRA

Los objetivos principales de una puesta a tierra se pueden resumir en lo siguiente:

- Permitir la conducción a tierra de cargas estáticas o descargas eléctricas atmosféricas.
- Limitar a niveles seguros los valores de la tensión a tierra de equipos o estructuras accidentalmente energizados y mantener en valores determinados la tensión fase-tierra de sistemas eléctricos, fijando los niveles de aislamiento.
- Limitar las tensiones debidos a maniobras.
- Limitar la tensión debido a contacto no intencional con sistemas de mayor tensión.
- Permitir a los equipos de protección aislar rápidamente las fallas.
- Ahora bien, para realizar adecuadamente estas funciones, una puesta a tierra debe presentar las siguientes características:
- Preferiblemente una baja resistencia
- Una suficiente capacidad de conducción de corriente.

En general se espera que una puesta a tierra tenga suficiente capacidad de dispersión de corriente en el suelo, y que a su vez limite los potenciales en su superficie (control de

gradiente de potencial), de tal manera que no comprometan la seguridad de las personas por causa de una falla a tierra. (MARKIEWICZ, s.f.)

COMPONENTES DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

La resistencia ofrecida al paso de la corriente eléctrica a través de un electrodo hacia el suelo tiene tres componentes principales:

Resistencia del electrodo:

Es una resistencia la cual es despreciable de la resistencia total. Los elementos que son empleados comúnmente para conexiones a tierra son: varillas, tubos, masas de metal, estructuras, etc.

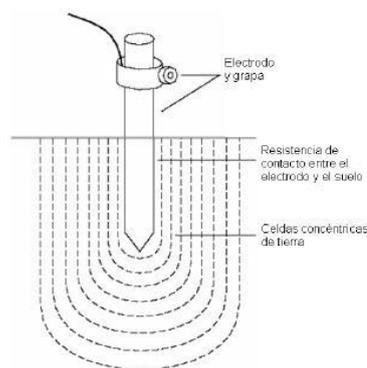
Resistencia de contacto entre el electrodo y el suelo:

Se puede despreciar si el electrodo está exento de cualquier cubierta aislante como tintas, pinturas, grasa, etc.; Y si la tierra está bien compactada en la zona de contacto de sus paredes.

Resistencia de la tierra circundante:

Ésta es la componente que determina el valor de la resistencia de una puesta a tierra y depende básicamente de la resistividad del suelo y de la distribución de la corriente proveniente del electrodo.

Figura 2. Componentes de la Resistencia de Puesta a Tierra.



Fuente: Norma RA 6- 015 Medida de la Resistencia de Puesta a Tierra.

Alrededor del electrodo de puesta a tierra, la resistencia del suelo es la suma de las resistencias serie de las celdas o capas coaxiales circundantes del suelo, localizadas progresivamente hacia fuera del electrodo. En la figura 2, a medida que aumenta la distancia, las capas del suelo presentan una mayor área transversal a la corriente y por tanto una menor

resistencia. Se sigue entonces que la resistencia de puesta a tierra reside esencialmente en las capas de suelo más próximas al electrodo. (Eriksson, 1991)

VALORES RECOMENDADOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

Un buen diseño de puesta a tierra debe reflejarse en el control de las tensiones de paso, de contacto y transferidas; En razón a que la resistencia de puesta a tierra es un indicador que limita directamente la máxima elevación de potencial y controla las tensiones transferidas, pueden tomarse como referencia los siguientes valores máximos de RPT.

Tabla 2: Valores de referencia para Resistencia de puesta a tierra

APLICACIÓN	VALORES MAXIMOS DE REISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
Estructuras de líneas de transmisión	20 Ω
Subestaciones de alta y extra alta tensión	1 Ω
Subestaciones de media tensión	10 Ω
Protección contra rayos	10 Ω
Neutro de acometida en baja tensión	25 Ω

Fuente: Norma RA6-015

Cuando por valores altos de resistividad del terreno, de elevadas corrientes de falla a tierra o tiempos de despeje de la misma, o que por un balance técnico económico no resulte práctico obtener los valores de la tabla de valores de resistencia a tierra, en todo caso se debe garantizar que las tensiones de paso, contacto y transferidas en caso de una falla a tierra no superen las máximas permitidas, incluso cuando se alcancen los valores señalados en la tabla 8.1. (Norma RA6-015, 2008)

RESISTIVIDAD DEL SUELO

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 [$\Omega \cdot m$]. (Todedano G. & Martínez Requena, 2004, pág. 3)

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 tipos de suelos naturalmente contienen cantidades variables de electrolitos, los mismos que contribuyen a conducir de forma eficiente la corriente eléctrica por lo que es conveniente el aumento de cantidad de agua al terreno para mejorar las propiedades conductoras; ya que, cuanta mayor humedad embeba el suelo, la resistividad será menor. No obstante, el aumento de humedad en suelos de tipo granito, arenisca y piedra caliza en la superficie, hará que su resistividad se reduzca en un factor mínimo o simplemente no cause efecto alguno.

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 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. (Curillo, 2012)

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.

Tabla 3: Tipos de suelo y su resistividad

NATURALEZA DEL TIPO DE TERRENO	LÍMITES NORMALES DE RESISTIVIDAD [$\Omega \cdot m$]	RESISTIVIDAD TÍPICA [$\Omega \cdot m$]
Terreno pantanoso	Hasta 30	30
Limo	20 - 100	50
Humus	10 - 150	80
Arcilla plástica	Hasta 50	120
Marga y arcillas compactas	100 - 200	150
Arcilla arcillosa	50 - 500	400
Arena sílica (mar)	200 - 3000	2500
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 - 500	450
Suelo pedregoso desnudo	1500 - 3000	2500
Calizas blandas	100 - 300	250
Calizas agrietadas	500 - 1000	900
Calizas compactas	1000 - 5000	4000
Pizarras y esquistos	50 - 300	800
Roca	1500 - 10000	8000
Grava	3000 - 5000	4500

Fuente: Gironella Jorge (2010)

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. (Harper, 2008)

IMPORTANCIA EN LA MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

La medición de la resistencia o impedancia de puesta a tierra, es necesaria por diferentes razones, entre ellas:

- a) Determinar la resistencia actual de las conexiones a tierra.
- b) Verificar la necesidad de un nuevo Sistema de Puesto a Tierra.
- c) Determinar cambios en el Sistema de Puesto a Tierra actual. Se Verifica si es posible o no incorporar nuevos equipos o utilizar el mismo Sistema de Puesto a Tierra para protección contra descargas atmosféricas y otros.
- d) Determinar los valores de tensión de paso y de contacto y su posible aumento que resulta de una corriente de falla en el sistema.
- e) Diseñar protecciones para el personal y los circuitos de potencia y comunicación.

(Rojas , 2007, pág. 4)

MÉTODOS DE PRUEBA BÁSICOS PARA MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA A TIERRA Y RESISTIVIDAD DEL TERRENO

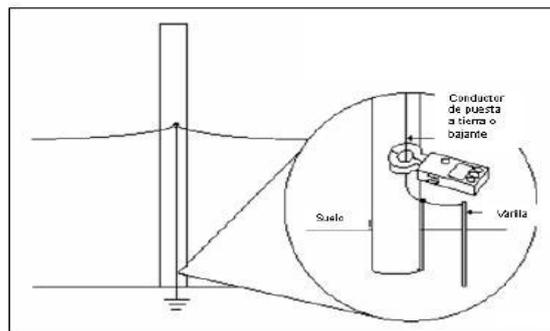
La mayoría de los instrumentos existentes para la medición de la resistencia a tierra, se basan en el método de la caída de potencial.

Medida de la RPT mediante medidor tipo pinza

Este es un método práctico que viene siendo ampliamente usado para medir la puesta a tierra en sitios donde es imposible usar el método convencional de caída de potencial, como es el caso de lugares densamente poblados, celdas subterráneas, centros de grandes ciudades, etc.

El medidor tipo pinza, mide la resistencia de puesta a tierra de una varilla o de una puesta a tierra de dimensiones pequeñas, simplemente abrazando el conductor de puesta a tierra o bajante como lo ilustra la figura 3.

Figura 3. Medición de la RPT utilizando pinza



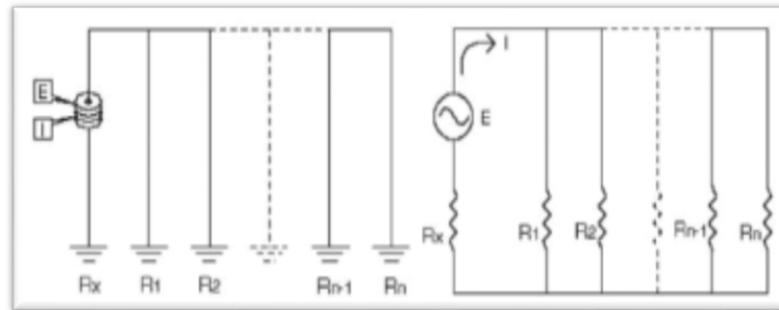
Fuente: Megger DET24C Digital Earth Clamp

Las pinzas digitales de medición de resistencia de tierra son especialmente apropiadas para medir la resistencia de tierra en diversas instalaciones como edificios, torres y lugares de transmisión RF sin necesidad de desconectar el sistema. Además, pueden ser utilizadas para inspeccionar y verificar sistemas de protección de pararrayos y casi cualquier tipo de instalación donde pueda generarse un arco de corriente

El principio de operación es el siguiente:

El neutro de un sistema puesto a tierra en más de un punto, puede ser representado como un circuito simple de resistencias de puesta a tierra en paralelo. Si una tensión “E” es aplicada al electrodo o sistema de puesta a tierra Rx, la corriente “I” resultante fluirá a través del circuito.

Figura 4. Circuito Equivalente para un SPT en más de un Punto.



Fuente: Normas Técnicas RA6-015, Medida de Resistencia de Puesta a Tierra

La relación entre la tensión y la corriente es determinada por el instrumento y desplegada en forma digital. El método está basado en la suposición de que la impedancia del neutro del sistema puesto a tierra en más de un punto, excluyendo el electrodo bajo medida, es muy pequeña y puede ser asumida igual a cero. La ecuación es la siguiente:

$$E/I = R_x + \frac{1}{\sum_{K=1}^n \frac{1}{R_k}} \quad \text{Ec. 1.}$$

Donde usualmente,

$$R_x \gg \frac{1}{\sum_{K=1}^n \frac{1}{R_k}} \quad \text{Ec. 2.}$$

Con esta suposición, la lectura indicada representa la resistencia de puesta a tierra del electrodo que se está midiendo.

El método posee las siguientes limitaciones:

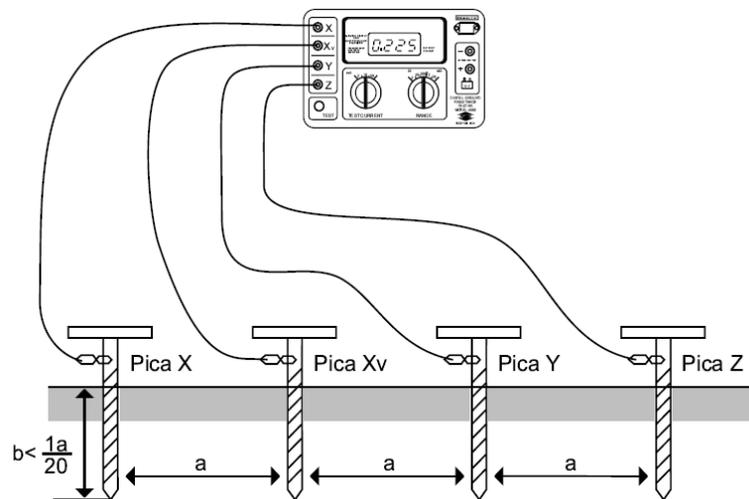
- La aplicación es limitada a electrodos conectados a sistemas puestos a tierra en más de un punto de baja impedancia.
- Las conexiones corroídas o partidas del neutro del sistema (o cable de guarda) pueden influenciar las lecturas.
- No es aplicable a los sistemas de puesta a tierra en los cuales la corriente inyectada pueda retornar por caminos diferentes a la tierra misma.
- La existencia de altas resistencias en las conexiones con el electrodo de puesta a tierra.
- Si el conductor de conexión con el electrodo está abierto no se tendría una medida confiable. (CFE 00J00, 01-1980)

Método de Wenner para medición de resistividad del terreno

La medida se realiza a través del método de Wenner, disponiendo cuatro electrodos de unos 15 cm de longitud, alineados y separados unos de otros por la misma distancia, a través de los electrodos exteriores se inyecta una corriente que crea un campo eléctrico en el terreno; por medio de los electrodos interiores se mide la diferencia de potencial que se produce entre ellos.

La resistividad del terreno comúnmente suele medirse bajo el sistema del método de cuatro electrodos, es decir para medir la resistividad promedio de volúmenes extensos en terrenos habituales.

Figura 5. Medición de la resistividad del terreno por el método de Wenner



Fuente: Casas Favio

El Dr. Frank Wenner de la Oficina de los estándares de USA, desarrollo la teoría basada en esta prueba en 1915. El demostró que, si la profundidad (b) a la que se clava el electrodo de prueba se mantiene pequeña comparado con la distancia (a) entre electrodos, se aplica la siguiente fórmula:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \quad \text{Ec. 11.3.}$$

Dónde:

ρ = Es la resistividad aparente del terreno [$\Omega \cdot m$].

a = Es la distancia entre electrodos [m].

R = Es la resistencia de puesta a tierra medida [Ω].

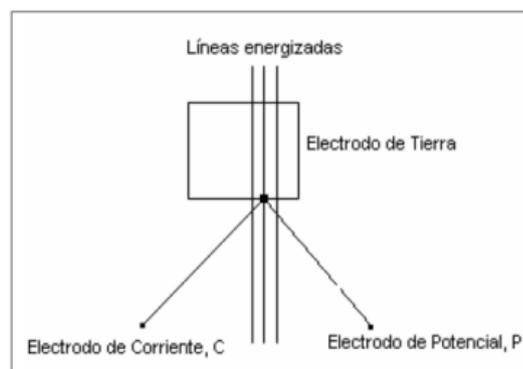
Recomendaciones Generales para efectuar las Mediciones

Asegurar medidas validas en sistemas de tierra, requiere usar de técnicas e instrumentos apropiados. A continuación, se presentan puntos que deben tomarse en cuenta para efectuar adecuadamente una medición de resistencia de puesta a tierra:

- Las mediciones se efectuarán en días en los que el terreno se presente seco, teniéndose así la situación más desfavorable en la conexión a tierra.
- Los conductores, conectores y los extremos exteriores de los electrodos auxiliares del equipo de medición, deben estar en buen estado de conservación
- En caso de realizar mediciones en áreas donde se encuentren enterrados objetos metálicos (tuberías, varillas, etc.) se requiere realizar mediciones ortogonales, para poder así eliminar la influencia de estos objetos en la medición.
- En caso de que el terreno este muy seco, es recomendable humedecer los electrodos, especialmente el electrodo de corriente, para obtener un buen contacto entre el electrodo auxiliar y el terreno.
- La presencia de líneas energizadas de alta tensión en las cercanías del área donde se está llevando a cabo la medición, afecta la calidad de la misma, en particular cuando se está midiendo de forma paralela a la línea energizada.

Para evitar esta interferencia, se debe realizar la medición en una dirección perpendicular a la línea energizada, incluso se puede medir abriendo los electrodos de corriente y potencial unos 90° , como se ilustra en la Figura 6. (RIETIE, 2010)

Figura 6. Electrodos de corriente y potencial a 90° entre sí.



Fuente: Técnicas Modernas para la Medición de SPT en Zonas Urbanas.

SUELOS ARTIFICIALES

Es la respuesta de la industria a la necesidad de obtener buenas resistencias de puesta a tierra. Existen varios productos en diferentes países con diversos nombres comerciales, como: Amelioterre, Aterragel, Backfill, Chem-rod, FAVIGEL, Erico-gel, Gaf, Gem-25, Laborgel, Polyrod, Power Fill, Sanick-gel, Sankosha, Stockosorf, TerraDyne, TerraFill, X-lit, etc.

Para mejorar la resistividad del terreno donde se va a instalar un sistema de puesta a tierra los terrenos pueden ser cambiados en su totalidad. Cuando los terrenos son rocosos, pedregosos, calizas, granito, etc., que son terrenos de muy alta resistividad y pueden cambiarse parcialmente cuando el terreno está conformado por componentes de alta resistividad, mejorando significativamente la resistividad.

Se recomienda que el terreno cambiado para el sistema de puesta a tierra tenga un contorno de hasta $0,5\text{m}^3$ por electrodo, esto depende de las recomendaciones del fabricante del suelo artificial.

El porcentaje de reducción en estos casos es difícil de deducir, debido a los factores que intervienen, como son resistividad del terreno natural, resistividad del terreno de reemplazo total o parcial, adherencia por la compactación y limpieza del electrodo. A continuación, se detalla una idea porcentual aproximada en función al tipo de terreno y al cambio total o parcial.

- Para lugares de alta resistividad donde se cambie el terreno de los pozos en forma total, el porcentaje puede estar entre 50 a 70 % de reducción de la resistencia eléctrica resultante.
- Para terrenos de media resistividad donde se cambie el terreno de los pozos en forma parcial o total, el porcentaje de reducción puede estar como sigue:
 - Cambio parcial de terreno: Reducción de 20 a 40 % de la resistencia de puesta a tierra.
 - Cambio total del terreno: Reducción de 40 a 60 % de la resistencia de puesta a tierra.
 - Para terrenos de baja resistividad donde se cambiará el terreno de los pozos en forma parcial, el porcentaje de reducción puede estar entre 20 a 40 % de la resistividad natural del terreno.

Características de un suelo artificial

- Que no tenga factores de riesgo para quienes lo manipulen o para los animales.
- Que sea fácil de aplicar.
- Que retenga la mayor humedad posible, el mayor tiempo posible.
- Que no requiera hidratación previa con agitación.
- Que permanezca inalterable con el tiempo (muy estable)
- Que sea fácil de almacenar, compactar y transportar.
- Que su costo no sea tan elevado.
- Que no dañe los suelos naturales donde se ubique.
- Que se introduzca fácilmente entre las grifas o fisuras.
- Que los procesos químicos originados en la mezcla sean reversibles.
- Que no presente migraciones con el tiempo.
- Que tenga alta capacidad de intercambio catiónico.
- Que su PH sea alcalino (mayor de 7).
- Que su permisividad sea mayor de 10
- Que tenga una baja resistividad (menor a $1\Omega\text{-m}$)
- Que combine la capacidad de absorción con la adsorción.
- Que presente baja conductividad térmica.
- Que no permita alimentación de bacterias

MEJORAMIENTO Y MANTENIMIENTO

Un sistema de puesta a tierra es una parte más importante de una instalación eléctrica y debe dársele el tratamiento acorde con su trascendencia. Esto significa que, si no se llega a un punto óptimo, deben hacerse esfuerzos para llevarlo a la mejor condición, antes de la puesta en servicio. También debe someterse a un mantenimiento periódico para que siempre se encuentre en buenas condiciones.

Los elementos de un sistema de puesta a tierra en su mayoría tienden a perder su eficiencia después de ciertos años luego de su instalación.

En caso de que las mediciones de la resistencia de puesta a tierra medida se de valor muy alto, es preciso modificar la puesta tierra para obtener menor resistencia de puesta a tierra. En la

práctica existen distintos métodos para este fin, siendo dos los más importantes para el mejoramiento de la resistencia en líneas de transmisión en servicio.

1. Tratamiento del terreno
2. Incremento de los electrodos

La resistencia de puesta a tierra se le puede reducir aumentando varilla y conductores horizontales o aumentando las dimensiones de los mismos: mayor radio y mayor longitud. A pesar de eso casi siempre no se logra el valor requerido lo que da paso a usa otro tipo de método modificación del suelo que rodea al electrodo, de esta forma se pretende reducir la resistividad a través de tratamientos físicos y químicos.

TECNICAS DE MEJORAMIENTO DE PUESTA A TIERRA

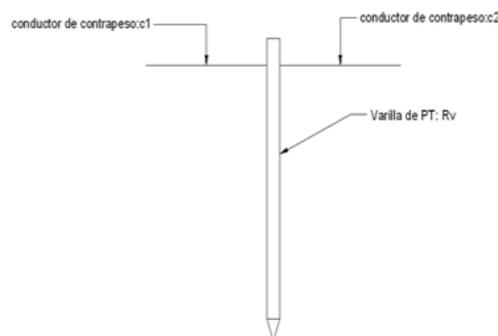
A continuación, se menciona algunos métodos usados para reducir o mejorar los valores de resistividad de puesta a tierra:

Instalación de contrapesos

Este tipo de técnica es muy utilizada por algunos factores que favorecen a la implementación, empezando por su bajo costo, la instalación es simple se anexa directamente a la varilla el o los contrapesos necesarios. Este tipo de técnica debe ser diseñada perfectamente para garantizar una reducción significativa de la resistencia de puesta a tierra.

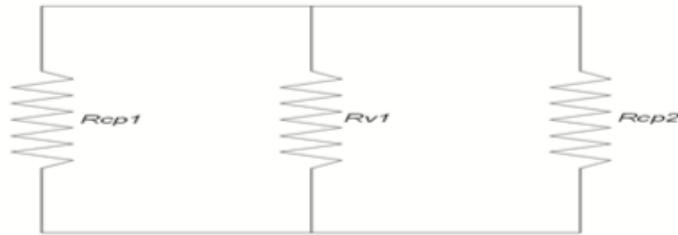
Cuando a una puesta a tierra se le añade un contrapeso el cálculo se realiza en base al valor resultante de una varilla vertical y un conductor enterrado horizontalmente.

Figura 7. Instalación de contrapeso en varilla de puesta tierra enterrada verticalmente



Fuente: Miño William y Freire Luigi

Figura 8. Circuito equivalente de contrapeso en varilla de puesta a tierra enterrada verticalmente.



Fuente: Miño William y Freire Luigi

A partir del circuito equivalente se puede deducir la resistencia total puesto que se transforma en un análisis de resistencias en paralelo:

$$\frac{1}{RTP_{Total}} = \frac{1}{RTP_{cp1}} + \frac{1}{RTP_{v1}} + \frac{1}{RTP_{cp2}} \quad \text{Ec. 11.4.}$$

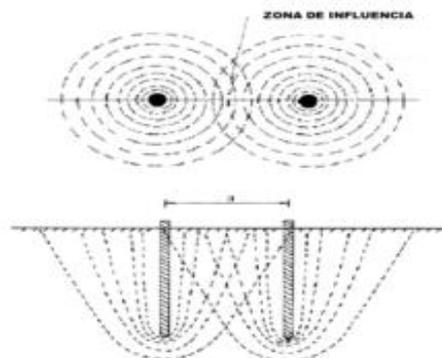
Cada una de las resistencias se deberá calcular separado con los métodos analizados anteriormente.

Este tipo de técnica de mejoramiento es recomendable aplicar para sistemas de puesta a tierra donde la instalación sea técnica y económicamente viable.

Aumento del número de electrodos

Es una práctica muy recomendada por expertos en instalaciones de este tipo además de ser una manera muy efectiva de reducir significativamente la resistencia de puesta a tierra, hay que considerar que los electrodos enterrados no deben estar muy cercanos ya que produciría efectos adversos y no reduciría la resistencia de puesta a tierra debido a los gradientes de potencial eléctrico generado por los electrodos.

Figura 9. Zonas de interferencia (traslape)



Fuente: Miño William y Freire Luigi

Para aplicar esta técnica se debe diseñar de tal forma que la resistencia de puesta a tierra mejore, para conseguirlo la distancia mínima entre varillas el análisis se muestra en un estudio realizado por Roy B. Carpenter, Jr. Y Joseph A. Lanzoni, demostraron que a partir de 1.1 veces la longitud de la varilla los efectos de traslape es insignificante.

Con este antecedente se determina que para añadir varillas en paralelo en un sistema de puesta a tierra se debe instalar a una distancia mínima de 2,2 veces la longitud de la varilla.

La norma NEC-250-84, establece que la separación mínima entre varillas de puesta a tierra sea de 1,8m.

Esta distancia recomendada por la norma es muy pequeña comparado con la demostración anterior que establece una distancia de 2,2 veces la longitud de la varilla para el caso de nuestro estudio considerando la instalación de una varilla de 3m, la distancia a la que se debería instalar la segunda varilla sería de 6,6m.

Tratamiento del terreno

La norma IEEE-142 menciona que la impedancia de puesta a tierra se podría reducir desde un 15% hasta un 90% realizando este método, todo dependerá del tipo de estructura y textura del suelo artificial.

Para elegir el tratamiento químico de un sistema de puesta a tierra se deben considerar factores:

- a) Alto porcentaje de reducción inicial
- b) Facilidad para su aplicación
- c) Tiempo de vida útil (del tratamiento y de los elementos del sistema de tierra).
- d) Facilidad en su reactivación
- e) Estabilidad (mantener la resistencia durante varios años).

Además, las sustancias que se usan para un eficiente tratamiento químico deben tener las siguientes características.

- a) No ser corrosivas
- b) Alta conductividad eléctrica
- c) Químicamente estables en el terreno
- d) Ser inofensivas para la naturaleza.

A continuación, describiremos técnicas que se puede aplicar para mejorar el terreno, que permitirá disminuir la resistividad del mismo, sin necesidad de una gran cantidad de electrodos.

Hacer rellenos:

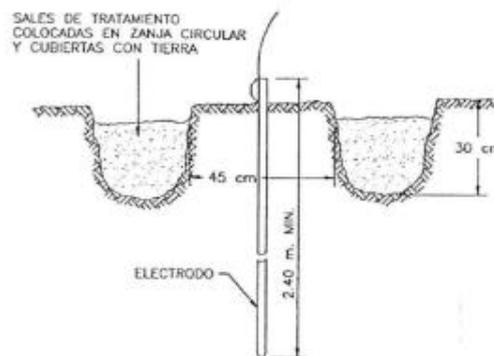
Esta técnica de hacer rellenos es una de las soluciones más utilizadas, debido a sus buenos resultados en la práctica, mencionaremos algunos materiales que se utiliza para hacer rellenos.

a) Relleno con sales

Tiene corta duración por su lixiviación rápida (migración) y contaminación con otros elementos. Además, tiene una desventaja para los materiales que comprende la puesta a tierra, por la corrosión que produce en los materiales reduciendo considerablemente la vida útil del sistema de puesta a tierra.

Se aplica en una zanja alrededor del electrodo de tierra formando un círculo y tapada con tierra, sin llegar a tener contacto directo con electrodo como se muestra en la figura 8.10:

Figura 10. Aplicación de sales alrededor del electrodo



Fuente: Salazar Jorge.

b) Con carbón vegetal o mineral:

Este método no permite bajar sustancialmente la resistencia de puesta a tierra, sobre todo por el tamaño de la partícula. Un carbón de partículas muy finas tiene una resistividad de $1,8 \Omega\text{-m}$

c) Con suelos artificiales y geles

Consiste en tratar el terreno con dos soluciones acuosas que se mezclan y conjuntamente forman un gel. Son compuestos gelatinosos que permite al terreno mantener una estabilidad química y eléctrica por aproximadamente 4 a 6 años. (ORTUONDO, pág. 35)

PLAN DE MANTENIMIENTO

Los componentes del sistema de puesta a tierra tienden a perder su efectividad después de unos años, debido a corrosión, fallas eléctricas, daños mecánicos e impactos de rayos. Los trabajos de inspección y mantenimiento deben garantizar una continua actualización del SPT para el cumplimiento del RETIE.

La inspección debe hacerse por un especialista en el tema, el cual debe entregar registros de lo observado, dicha inspección incluye la verificación de la documentación técnica, reportes visuales, pruebas y registros. Todo SPT debe ser inspeccionado de acuerdo con la Tabla 8.3.

Tabla 4: Máximo período entre mantenimientos de un SPT

Nivel de tensión de la instalación	Inspección visual (años)	Inspección visual y mediciones (años)	Sistemas críticos inspección visual y mediciones (años)
Baja	1	5	1
Media	2	6	1
Alta y Extra Alta	3	4	1

Fuente: Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE)

Los intervalos de la anterior tabla pueden variar, según condiciones climáticas locales, fallas que comprometan la integridad del SPT, normas de seguridad industrial, exigencias de compañías de seguros, procedimientos o regulaciones técnicas de empresa

El mantenimiento requiere actividades de análisis para conocer fallas y sus medidas de solución, el planeamiento para determinar los recursos necesarios y una programación para determinar la época de su realización.

Tabla 5: Plan de mantenimiento de un SPT (sistema de puesta a tierra)

ITEM	REALIZAR	ACCIÓN PREVENTIVA
1	A seis meses	Revisión y ajustes necesarios del sistema de protección contra rayos (SIPRA). Revisión de estructuras de anclaje: aisladores y conectores.
2	Cada año	Medición de resistencia de puesta a tierra. Medición de equipotencialidad. Revisión y ajustes necesarios del SIPRA. Revisión de estructuras de anclaje: aisladores y conectores
3	Cinco años	Evaluación de resistencia de cada puesta a tierra. Medición de equipotencialización de cada SPT. Medición de resistencia de puesta a tierra de todo el SPT interconectado
4	Diez años	Exploración de conexiones del electrodo de tierra. (Una muestra) Las actividades propias de cada año.
5	Veinte años	Diagnosticar. Evaluar. Rediseñar. Proyectar acciones correctivas

Fuente: Favio Casas Ospina

Acciones posibles que ejecutar en el Mantenimiento Preventivo.

- a) Si el suelo requiere de una nueva mejora hacerla en cada pozo para asegurar que la resistividad del terreno cumpla con los límites máximos permitidos por norma.
- b) Se cambia los conectores a todos los pozos de puesta a tierra que presenten corrosión o daño.
- c) Se remueve la sulfatación de los electrodos usando lija metálica para asegurar el buen contacto de estos con el cable y con los conectores.
- d) Se remueve la sulfatación de los terminales usando el cepillo metálico para asegurar el buen contacto de estos con el electrodo y con el conector.
- e) Se vuelve a medir los valores de los pozos de puesta a tierra para comprobar que los valores de su resistencia estén en el rango exigido por la norma.

NORMAS QUE RIGEN EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Los estándares internacionales son basados, probados y experimentados en teorías científicamente y con técnicos de todo el mundo, teniendo en consideración la experiencia internacional que tienen dentro de este campo.

Estos estándares muestran los requisitos mínimos para establecer el diseño e instalación de protección de los SPT, entre otros. Para realizar la evaluación en lo que concierne a las condiciones en las que se encuentra el SPT, es necesario hacer mención en la teoría de referencia de las normativas y reglamentos actualizados, que estén probados y rijan procedimientos adoptados en todo el mundo.

Código Eléctrico Nacional ecuatoriano

El NEC (Código Eléctrico Nacional ecuatoriano) adoptado por el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización), en su Artículo 250 describe los requisitos generales para el SPT y sus sistemas eléctricos. El agente con jurisdicción puede pasar por alto algunos requisitos del código o permitir que se realicen tácticas alternativas, cuando esté seguro de que se pueden lograr objetivos iguales, creando y manteniendo una seguridad efectiva. Este código puede pretender el uso de nuevos productos, construcciones o materiales que quizás no se encuentren disponibles en el momento de ejecución del mismo. En tal caso, el agente puede autorizar el uso de productos, construcciones o materiales que cumplan con los objetivos de garantizar seguridad. (Cabrera Tituana & Salinas Rojas, 2014) & (INEN)

Normativa IEEE Std 80-2000.

Los objetivos para realizar el diseño de la puesta a tierra son:

- Proporcionar un medio de disipación para corrientes eléctricas a tierra sin exceder los valores nominales de los equipos.
- Asegurar que una persona cerca de una instalación eléctrica no se exponga al peligro de un choque eléctrico.
- Establecer límites de seguridad bajo condiciones de falla en la subestación eléctrica.

Normativa IEEE Std 142 – 2007.

La norma IEEE Std. 142-2007 es una recomendación práctica para el aterramiento de sistemas de potencial industrial y comercial, esta norma discute los puntos favorables y desfavorables de un SPT frente a los sistemas sin conexión a tierra, se proporciona información sobre como aterrizar diferentes sistemas y equipos eléctricos, tales como: motores, interruptores, transformadores, cables, conducto, entre otros. Describe los fundamentos de la interconexión o sistemas de conexión a tierra entre los aparatos eléctricos y las varillas de tierra. Se tratan problemas de electricidad estática; la forma en que se genera, los procesos y causas que lo producen, como se mide y que se debe hacer para prevenir su generación o para drenar las cargas estáticas a tierra. La conexión a tierra o el sistema de electrodos, tiene que tener una resistencia lo suficientemente baja para permitir la operación rápida de los dispositivos de protección del circuito en caso de una falla a tierra, para proveer la seguridad necesaria de choque para el personal, conductores, equipos o de los propios electrodos y para limitar las sobretensiones transitorias. (RAMÍREZ CASTAÑO, 2010)

9. HIPÓTESIS

La determinación de los niveles de puesta a tierra de la Línea de Subtransmisión desde la S/E Ambato - Samanga hasta la S/E Samanga - Pillaro de 69 kV., nos permitirá diagnosticar su sistema y proponer alternativas que garanticen el perfecto funcionamiento del mismo.

10. METODOLOGÍA

La metodología que se utiliza en este proyecto de investigación se basa en etapas establecidas en los objetivos; parte de la recopilación de una base teórica, lo cual conlleva a la selección de una norma y posteriormente a la realización de un procedimiento vinculado a los sistemas de puesta a tierra para líneas de transmisión a través de un electrodo directamente aterrizado.

TIPOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Para la elaboración de este proyecto se decidió que se utilizará los siguientes tipos de investigación:

Bibliográfica

La recopilación de información se generó desde el departamento de Subtransmisión de la EEASA, con hojas de estacamiento de la Línea a 69 Kv en estudio, donde se encuentra toda la documentación de cada una de las estructuras que conforman la línea Ambato – Samanga y Samanga – Pillaro, además se investigó la forma de aterrizar de las estructuras de la EEASA, así como la norma de construcción de redes eléctricas vigentes dentro de la institución.

Con toda la fundamentación teórica sobre la línea en estudio y el sistema de puesta a tierra de sus estructuras de soporte, se pudo sustentar una adecuada planificación del proyecto desarrollado.

De Campo

La presente investigación tiene su desarrollo fundamental en la toma de mediciones de campo a pie de torre o estructura de cada una de ellas hasta completar la línea de 69 kV desde su salida de la S/E Ambato hasta llegar hasta la S/E Pillaro con una longitud de recorrido de 7.1 Km, mediciones que involucraron toma de datos de resistencia de puesta a tierra con el método de caída de voltaje y una metodología de Wenner para determinar la resistividad del suelo, utilizando equipos como el MEGGER DET24C Digital Earth Clamp and un teluometro digital Modelo 4500.

Se realizaron un mínimo de tres mediciones de resistencia de puesta a tierra por cada método y por cada estructura, con el objeto de encontrar un valor promedio de medida realizada y descartar equivocaciones en las mediciones. Las estructuras analizadas en campo fueron alrededor de 66 como se indica en el anexo 1 (Hoja de estacamiento).

NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

Descriptiva

Este tipo de Investigación Descriptiva permite describir los parámetros necesarios para una protección adecuada de la línea de Subtransmisión a 69 Kv en estudio, ya que, dicho estudio obtendrá resultados veraces gracias a la precisión de los equipos utilizados y que fueron proporcionados por la EEASA.

Explicativa

El autor Sampieri Roberto menciona “Va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos del establecimiento de relaciones entre conceptos; están dirigidos a responder a las causas de los eventos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da este, o porque dos o más variables están relacionadas.”

MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Método hipotético-inductivo.

En lo particular en nuestra investigación es que el mejoramiento de suelo ayuda a disminuir la resistividad del mismo y la instalación de electrodos en paralelo o en contrapeso disminuye la resistencia de puesta a tierra, en lo general a nuestro estudio proporcionara como consecuencia el mejorar el sistema de puesta a tierra de las estructuras de la línea en estudio.

INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Se constituyen en herramientas para poder realizar de manera acorde a nuestra investigación.

Fichas de Observación de Campo

Este instrumento nos ayuda al registro de información indispensable ya que es importante que la información directa (de campo) sea registrada en fichas de trabajo por medio de la observación, misma que se realiza en la Línea de Subtransmisión.

Tabla 6: Ficha de Observación de Campo

N.-	TECNICAS	INSTRUMENTOS
1	Investigación documental	<ul style="list-style-type: none"> • Marco teórico • Bibliografía escrita existente
2	Investigación de campo	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos de medición (Teluometro, Megger) • Fichas técnicas (Hoja de estacamiento)
3	Observación	<ul style="list-style-type: none"> • Ficha de registros (Datos de medición) • Fotografías

Realizado por: Autores

11. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Introducción

La línea de Subtransmisión Ambato-Samanga y Samanga-Pillaro a 69Kv perteneciente a la empresa eléctrica Ambato S.A (EEASA), se encuentra ubicado en la zona nor-oriente de la ciudad de Ambato, Ecuador. Con una longitud de 3,560 Km y 3,573 Km, respectivamente.

La línea de Subtransmisión en la actualidad tiene 30 años de servicio, lo cual implica que sus elementos que lo componen tales como: estructuras (tipo HR, HS, S1G, SU1G), Tensores, aisladores, conductores de fase, hilo de guarda y varilla de puesta a tierra estén cumpliendo su vida útil, en especial el sistema de puesta a tierra de la línea se ha visto afectado por los factores ambientales que presentan la propia naturaleza.

Por lo tanto, debido a los años de servicio y por la falta de mantenimiento programado de la línea, la evaluación y diagnóstico de la puesta a tierra de toda la línea que comprende entre la subestación Ambato-Samanga y Samanga-Pillaro es de gran importancia para obtener información y datos actualizados de la resistencia de la puesta a tierra y de la resistividad del terreno a lo largo de la línea en mención, para poder verificar de esta manera si cumple o no con las normas y estándares establecidos en la actualidad para este tipo de sistemas eléctricos de potencia.

Los sistemas de puesta a tierra de la línea de Subtransmisión eléctrica, una vez realizado el análisis y cumplan los valores establecidos en normas, garantizaran el correcto funcionamiento del sistema, de la misma manera garantizando las condiciones de seguridad para los seres vivos que estén involucrados directa e indirectamente en la línea de Subtransmisión, permitiendo que cualquier contingencia que exista sea despejada rápidamente minimizando daños al sistema.

CONDICIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Antecedentes

El sistema de puesta a tierra de la línea de Subtransmisión Ambato-Samanga y Samanga-Pillaro, fue realizado en el año de 1985, está compuesta por un hilo de guarda en ciertos tramos y en algunos tramos por 2 hilos de guarda, las mismas que están conectados a tierra mediante una varilla (Copperweld), y un cable conductor de acero 5/8" de diámetro en ciertas partes y con cable de cobre # 1/0 AWG.

Dicho sistema de puesta a tierra está constituido por:

- **Conductor de tierra:** cable de cobre desnudo calibre # 1/0 AWG.
- **Varilla Copperweld:** de 5/8" de diámetro y de 3 metros de largo.

La conexión entre el conductor y la varilla está realizada mediante conexiones atornilladas y conexiones exotérmicas. Desde el año que fue diseñado el sistema de puesta a tierra hasta la actualidad no se ha realizado ningún tipo de mantenimiento ni un levantamiento de información que permitan determinar el estado actual de las puestas a tierra de la línea en mención. Además, no posee ningún plano de diseño de los sistemas de puesta a tierra en los que deberían estar descritos todos los parámetros de diseño en los que se basaron para la construcción de dicha línea.

Levantamiento del sistema de puesta a tierra

Para realizar el análisis de la puesta a tierra de las estructuras de la línea de Subtransmisión Ambato-Samanga y Samanga – Pillaro, se ha partido del levantamiento de información del mismo, en el que se incluye: la ubicación de las estructuras en los diferentes tipos de terrenos, el número de estructuras que cuentan con la puesta a tierra respectiva, condiciones físicas de la puesta a tierra en cada estructura y la medición de la resistencia de la puesta a tierra existente en todo el trayecto que compone la línea de Subtransmisión en mención. La información detallada de cada uno de los elementos mencionados de la línea de Subtransmisión Ambato-Samanga y Samanga-Pillaro a 69 Kv se encuentra en el **Anexo 1**.

Diagnóstico del sistema de puesta a tierra actual

Para el análisis del sistema actual se realizó un recorrido del trayecto de toda la línea, observando los elementos que los conforman, así como, el estado de la puesta a tierra, en referencia a las normas que la rigen. El SPT de la línea presenta los siguientes inconvenientes.

- a) No todas las estructuras (metálicas y hormigón) que se encuentran a lo largo de la línea, cuentan con la respectiva puesta a tierra.

Figura 11. Estructuras sin puesta a tierra



Realizado por: Autores.

Según el autor Arias, José todas las estructuras de transmisión de energía eléctrica, deberán tener por lo menos una conexión a tierra, parámetro que esta línea no cumple.

- b) La norma IEEE Std. 80-2000 dentro de la cláusula 9.4, que hace referencia a los aspectos básicos de diseño de la malla de tierra, propone en su inciso c), el incluir en la instalación de la malla conductores de tierra calibre # 2/0 AWG de material de cobre desnudo. En la puesta a tierra a lo largo del trayecto de la línea existen conductores de calibre # 1/0 AWG de acero, por lo tanto, no cumple con este inciso.

Figura 12. Conductor de tierra existente cable acerado



Realizado por: Autores.

- c) Al realizar el chequeo de las conexiones de puesta a tierra (uniones conductor-varilla copperweld) se detectó que los conectores de la puesta a tierra se encuentran en un número considerable en muy mal estado (oxidados, desconectados), provocando así una mala superficie de contacto.

Figura 13. Conexiones en mal estado



Realizado por: Autores.

- d) En el trayecto de la línea existen estructuras con conductores de puesta a tierra rotos con calibres # 1/0 AWG, cable acerado lo cual no cumple con las normas.

Figura 14. Conductor de puesta a tierra roto.



Realizado por: Autores.

- e) En el trayecto de la línea Ambato-Samanga no se respeta la franja de servidumbre establecido por las normas nacionales e internacionales, donde existen construcciones de viviendas.

Figura 15. Trayecto de la línea sin franja de servidumbre



Realizado por: Autores.

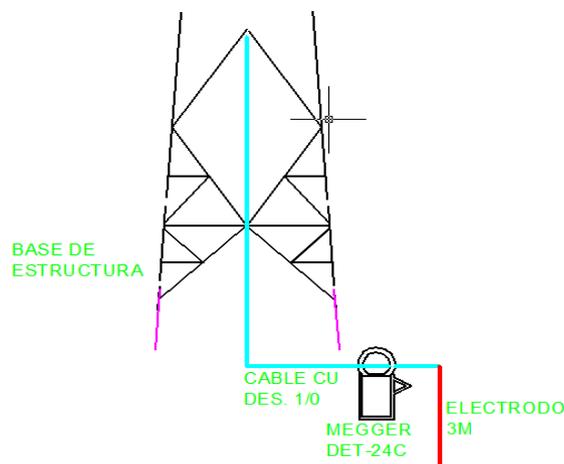
MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA Y RESISTIVIDAD DEL TERRENO DE LAS ESTRUCTURAS DE LA LINEA 69KV AMBATO-SAMNGA Y SAMANGA PILLARO

Para las mediciones realizadas en este proyecto se requirió la coordinación con el Departamento de Subtransmisión de la EEASA para la dotación de los equipos tales como: Pinza Megger y Teluometro, los mismos que están debidamente certificados y calibrados por los técnicos de la EEASA.

Medida de resistencia de puesta a tierra

Para realizar las mediciones de Resistencia de puesta a tierra de las estructuras de las líneas en estudio, se utilizó el equipo MEGGER DET-24C, el mismo que se conectó directamente al conductor de puesta a tierra, gracias a la característica de la pinza no requiere ninguna conexión especial, puesto que el principio de conexión es como una pinza amperimétrica.

Figura 16. Disposición de equipo para medición



Realizado por: Autores

La medición se la realizó a cada una de las estructuras existentes que contaban con sistema de puesta a tierra, la información de las estructuras con y sin SPT se encuentra en la respectiva hoja de estacamiento, a continuación, se presenta la tabla de valores medidos:

Tabla 7: Valores de resistencia de puesta a tierra línea de Subtransmisión S/E Ambato - S/E Samanga.

ESTRUCTURA		PUESTA A TIERRA	
Nº	TIPO	INSTALACIÓN	MEDICIÓN [Ω]
4	HR	SI	52,7
6	HR	SI	254
10	HS	SI	228
11	HS	SI	103,5
14	HS	SI	43,9
16	HR	SI	47,9
17	HS	SI	65,2
18	HR	SI	29,1
19	HS	SI	46
21	HR	SI	35,8
22	HS	SI	27,4
23	HS	SI	30
24	HR	SI	34,5
25	HS	SI	42,5
26	HS	SI	62,5
27	HR	SI	15,2

Realizado por: Autores.

Tabla 8: Valores de resistencia de puesta a tierra línea de Subtransmisión S/E Samanga - S/E Pillaro

ESTRUCTURA		PUESTA A TIERRA	
Nº	TIPO	INSTALACIÓN	MEDICIÓN (Ω)
29	HS	SI	73
33	ARR	SI	83
34	ARR	SI	166,5
37	ARR	SI	32,1
40	SIG	SI	26,2
41	SIG	SI	215
43	ARR	SI	17,8
44	TR	SI	29,4
47	HR	SI	33,2
48	TR	SI	47,1
49	TS	SI	11,5
50	TS	SI	65
51	TS	SI	45
55	SIG	SI	31,2
57	SIG	SI	29,6
59	SUIG	SI	22,5
61	TR	SI	33,6
63	SUIG	SI	22,8

66	ARR	SI	21,1
----	-----	----	------

Realizado por: Autores.

Se puede observar en las tablas anteriores valores muy elevados de resistencia de puesta a tierra, esto se debe a que el cable de puesta a tierra está cortado y evita una medición real de RPT, como se comentó en los antecedentes del proyecto.

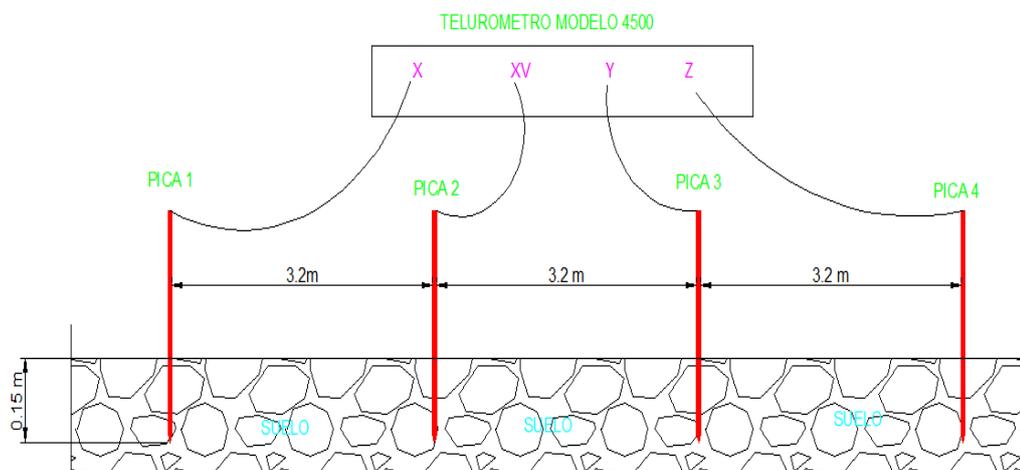
Medida de Resistividad del terreno

Para determinar la resistividad del suelo en donde se ubican las estructuras, fue necesario primeramente medir la resistencia de puesta a tierra a través del método de Wenner con el equipo Teluometro MODELO 4500. A continuación, se presenta el diagrama de conexión y distancias de ubicación de picas para realizar las mediciones en cada superficie, la ubicación de las picas estuvo junto a la estructura de la línea.

Procedimiento para la medición del terreno

- Colocamos las picas X, Xv, Y, Z en línea recta, la distancia entre cada pica será igual a 3,2 m.
- Las picas se entierran 15 cm dentro de la superficie del suelo, cumpliendo el requerimiento de distancia de clavado del 20% de la distancia de separación de las picas.
- Se realizaron tres mediciones de RPT para determinar una medición promedio, el número de mediciones es recomendado por la norma IEEE Std 142-1991.

Figura 17. Disposición y conexión de picas para medición



Realizado por: Autores

- Con los datos tabulados y obtenidos los valores promedio de RPT de cada estructura se calculó la resistividad del suelo con la ecuación 3 para cada superficie asociada a la estructura.

MEDIDA 1 R [Ω]	MEDIDA 2 R [Ω]	MEDIDA 3 R [Ω]	PROMEDIO RESISTENCIA R [Ω]
4,5	4,4	4,4	4,4

$$\rho = 2 * \pi * 3.2m * 4.4\Omega$$

$$\rho = 89.1 \Omega. m$$

A continuación se presenta la tabla de resultados con valores medidos de resistencia de puesta a tierra y calculado de resistividad del suelo:

Tabla 9: Mediciones de RPT Línea Ambato-Samanga

MEDICIONES CON TELUROMETRO MODELO 4500 - LINEA 69 KV AMBATO - SAMANGA										
ESTRUCTURA		VANO ADELANTE	CÁLCULO DE RESISTIVIDAD CON EL METODO DE WENER					OBSERVACIONES		
N°	TIPO		MEDIDA 1 R [Ω]	MEDIDA 2 R [Ω]	MEDIDA 3 R [Ω]	PROMEDIO RESISTENCIA R [Ω]	RESISTIVIDAD CALCULADA ρ [Ω.m]			
1	HR	100	4,9	4,9	5,0	4,9	99,2	ZONA 1		
2	HR	80	4,1	4,0	3,8	4,0	79,8	ZONA 1		
3	HR	100	4,3	4,2	3,9	4,1	83,1	ZONA 1		
4	HR	100	4,0	4,1	4,2	4,1	82,4	ZONA 1		
5	HS	100	3,8	3,8	3,7	3,8	75,7	ZONA 1		
6	HR	200	3,7	3,5	3,8	3,7	73,7	ZONA 1		
7	HR	200	4,1	4,0	4,2	4,1	82,4	ZONA 2		
8	HS	200	4,0	4,0	3,9	4,0	79,8	ZONA 2		
9	HR	200	3,9	3,8	3,9	3,9	77,7	ZONA 2		
10	HS	200	4,0	4,0	4,1	4,0	81,1	ZONA 2		
11	HS	200	5,0	4,5	5,0	4,8	97,2	ZONA 3		
12	HS	100	4,8	5,4	5,2	5,1	103,2	ZONA 3		
13	HS	100	5,0	4,9	5,4	5,1	102,5	ZONA 3		
14	HS	100	5,1	4,8	4,8	4,9	98,5	ZONA 3		
15	HR	100	5,0	5,6	5,0	5,2	104,6	ZONA 4		
16	HR	150	6,0	5,5	5,0	5,5	110,6	ZONA 4		
17	HS	100	5,5	4,0	5,0	4,8	97,2	ZONA 4		
18	HR	150	5,7	5,4	5,0	5,4	107,9	ZONA 4		
19	HS	150	5,7	5,6	6,1	5,8	116,6	ZONA 4		
20	SIG	100	5,0	5,0	5,3	5,1	102,5	ZONA 4		
21	HR	100	5,2	5,2	5,0	5,1	103,2	ZONA 4		
22	HS	100	2,5	2,0	1,5	2,0	40,2	ZONA 5		
23	HS	90	2,4	1,8	1,9	2,0	40,9	ZONA 5		
24	HR	80	2,0	2,0	2,3	2,1	42,2	ZONA 5		
25	HS	80	1,5	1,4	1,4	1,4	28,8	ZONA 5		
26	HS	200	0,5	0,7	0,7	0,6	12,1	ZONA 5		
27	HR	80	2,1	1,6	2,0	1,9	38,2	ZONA 5		
28	HR	80	2,0	2,2	2,0	2,1	41,6	ZONA 5		
NOTAS:										
* ZONA 1:	SECTOR TRES JUANES - AMBATO				DATOS		DESCRIPCION			
* ZONA 2:	LA VICTORIA - AMBATO				ρ		Resistividad del terreno ohmios-m		$\rho = 2 \times \pi \times a \times R$	
* ZONA 3:	SECTOR ATAHUALPA - AMBATO				R		Resistencia de puesta a tierra medida			
* ZONA 4:	SECTOR MACASTO - AMBATO				a		distancia entre electrodos metodo de medicion			
* ZONA 5:	SECTOR SAMANGA - AMBATO									

Realizado por: Autores

Tabla 10: Mediciones de RPT Línea Samanga-Pillaro

MEDICIONES CON TELUROMETRO MODELO 4500 - LINEA 69 KV SAMANGA-PILLARO									
ESTRUCTURA		VANO ADELANTE	CÁLCULO DE RESISTIVIDAD CON EL METODO DE WENER					OBSERVACIONES	
N°	TIPO		MEDIDA 1 R [Ω]	MEDIDA 2 R [Ω]	MEDIDA 3 R [Ω]	PROMEDIO RESISTENCIA R [Ω]	RESISTIVIDAD CALCULADA ρ [Ω.m]		
29	HS	20	4,5	4,4	4,4	4,4	89,1	ZONA 1	
30	HR	80	4,0	3,9	3,8	3,9	78,4	ZONA 1	
31	SUIG	80	4,2	4,0	3,9	4,0	81,1	ZONA 1	
32	SUIG	80	4,0	4,1	4,2	4,1	82,4	ZONA 1	
33	ARR	18	3,8	3,6	3,5	3,6	73,1	ZONA 1	
34	ARR	80	4,6	4,7	5,0	4,8	95,8	ZONA 1	
35	SUIG	80	4,2	4,0	3,9	4,0	81,1	ZONA 1	
36	ARR	70	3,9	4,2	3,9	4,0	80,4	ZONA 1	
37	ARR	80	4,3	4,6	4,5	4,5	89,8	ZONA 1	
38	SIG	80	4,0	4,2	4,1	4,1	82,4	ZONA 1	
39	SIG	80	4,2	4,0	3,7	4,0	79,8	ZONA 1	
40	SIG	80	2,8	2,7	2,6	2,7	54,3	ZONA 2	
41	SIG	80	4,0	3,9	4,2	4,0	81,1	ZONA 2	
42	HR	80	3,5	3,8	3,4	3,6	71,7	ZONA 2	
43	ARR	80	3,7	4,0	4,0	3,9	78,4	ZONA 2	
44	TR	75	3,2	3,0	3,0	3,1	61,7	ZONA 2	
45	SUIG	80	3,5	3,7	3,3	3,5	70,4	ZONA 2	
46	SUIG	80	3,0	3,1	2,8	3,0	59,6	ZONA 2	
47	HR	100	2,4	2,1	2,1	2,2	44,2	ZONA 2	
48	TR	150	6,4	5,5	5,1	5,7	113,9	ZONA 2	
49	TS	400	6,0	5,8	6,2	6,0	120,6	ZONA 2	
50	TS	100	6,2	6,3	6,1	6,2	124,7	ZONA 2	
51	TS	80	5,8	5,4	4,6	5,3	105,9	ZONA 3	
52	HR	100	5,5	5,9	5,4	5,6	112,6	ZONA 3	
53	SIG	100	5,0	5,4	4,6	5,0	100,5	ZONA 3	
54	SIG	100	4,8	5,0	4,7	4,8	97,2	ZONA 3	
55	SIG	100	4,3	3,2	3,5	3,7	73,7	ZONA 3	
56	SUIG	100	4,5	4,0	4,0	4,2	83,8	ZONA 3	
57	SIG	100	3,8	3,1	2,7	3,2	64,3	ZONA 3	
58	SIG	100	4,1	4,0	3,6	3,9	78,4	ZONA 3	
59	SUIG	100	3,2	3,0	3,2	3,1	63,0	ZONA 3	
60	SIG	100	3,6	3,0	3,2	3,3	65,7	ZONA 3	
61	TR	100	3,5	2,9	2,9	3,1	62,3	ZONA 4	
62	SUIG	100	3,0	3,5	3,3	3,3	65,7	ZONA 4	
63	SUIG	100	2,4	2,8	3,0	2,7	55,0	ZONA 4	
64	ARR	100	2,5	2,0	1,8	2,1	42,2	ZONA 4	
65	SUIG	100	1,5	1,4	1,3	1,4	28,1	ZONA 4	
66	ARR	20	2,5	2,0	1,6	2,0	40,9	ZONA 4	
NOTAS:									
* ZONA 1:	PARQUE INDUSTRIAL-PRIMERA ETAPA				DATOS	DESCRIPCION			
* ZONA 2:	PARQUE INDUSTRIAL-SEGUNDA ETAPA				ρ	Resistividad del terreno ohmios-m $\rho = 2 \times \pi \times a \times R$			
* ZONA 3:	GUAGRA CORRAL				R	Resistencia de puesta a tierra medida			
* ZONA 4:	ENTRADA A PILLARO				a	distancia entre electrodos metodo de medicion			

Realizado por: Autores

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con la información de valores medidos y calculados se realizaron los respectivos análisis tanto de los valores de RPT y resistividad de la línea en estudio. El SPT de las estructuras está conformado por un electrodo de 3m de longitud y 16mm de diámetro directamente aterrizado, la bajante de la puesta a tierra es con cable de cobre desnudo calibre 1/0 AWG.

Línea 69Kv Ambato – Samanga:

- En esta línea existen 28 estructuras a lo largo de la trayectoria, de las cuales 16 estructuras tienen puesta a tierra y 12 no tienen.
- De las 16 estructuras con puesta a tierra 3 están cortadas.

Línea 69Kv Samanga - Pillaro:

- En esta línea existen 38 estructuras a lo largo de la trayectoria, de las cuales 19 estructuras tienen puesta a tierra y 19 no tienen.
- De las 19 estructuras con puesta a tierra 2 están cortadas.

Análisis de la resistencia de puesta a tierra

Se tomó como referencia de partida que el valor de resistencia de puesta a tierra para estructuras debe oscilar entre los 20 ohm o menor, según la norma IEEE Std. 80-2000, a partir de esta consideración se establecieron las siguientes consideraciones:

Línea 69Kv Ambato – Samanga:

- La estructura # HR-27 tiene un valor de 15.2 ohm y cumple valor de norma, por lo tanto, no requiere mejoramiento a corto plazo.
- Los valores de RPT de 15 estructuras presentan valores mayores a 20 ohm y requieren ser intervenidas por no cumplir valor recomendado por norma.

Línea 69Kv Samanga - Pillaro:

- Las estructuras # TS-49 y ARR-43 tiene un valor de 11,5 ohm y 17,8 ohm respectivamente y cumplen valor de norma, por lo tanto, no requiere mejoramiento a corto plazo.

- Los valores de RPT de 17 estructuras presentan valores mayores a 20 ohm y requieren ser intervenidas por no cumplir valor recomendado por norma.

A continuación, se presenta la tabla de los valores de puesta a tierra calculados y medidos por cada estructura utilizando la siguiente ecuación, se muestra un ejemplo:

$$R_{1var} = \frac{82,4 \Omega \cdot m}{2 * \pi * 3m} \left(\ln \frac{4 * 3m}{0,01588m} - 1 \right) = 27,6 \Omega$$

$$R_{1var\ medido} = 31,6 \Omega$$

$$\%error = abs \left(\frac{31,6\Omega - 27,6\Omega}{27,6\Omega} \right) * 100\% = 14,4 \%$$

Tabla 11: Tabla de medición del SPT actual de la línea Ambato - Samanga

MEDICIONES DEL SPT ACTUAL CON MEGGER DTEC24 - LINEA 69 KV AMBATO - SAMANGA								
ESTRUCTURA		VANO ADELANTE [m]	RESISTIVIDAD PROMEDIO ρ [$\Omega \cdot m$]	RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA R[Ω]			SISTEMA ACTUAL DE SPT	OBSERVACIONES
N°	TIPO			1 VARILLA CALCULADO	1 VARILLA MEDIDO	% ERROR		
1	HR	100	99,2				NO TIENE	SIN SPT
2	HR	80	79,8				NO TIENE	SIN SPT
3	HR	100	83,1				NO TIENE	SIN SPT
4	HR	100	82,4	27,6	31,6	14,4	UN ELECTRODO DE PT	
5	HS	100	75,7				NO TIENE	SIN SPT
6	HR	200	73,7	24,7	177,8	619,2	UN ELECTRODO DE PT	SPT CORTADA
7	HR	200	82,4				NO TIENE	SIN SPT
8	HS	200	79,8				NO TIENE	SIN SPT
9	HR	200	77,7				NO TIENE	SIN SPT
10	HS	200	81,1	27,2	159,6	486,9	UN ELECTRODO DE PT	SPT CORTADA
11	HS	200	97,2	32,6	72,5	122,3	UN ELECTRODO DE PT	SPT CORTADA
12	HS	100	103,2				NO TIENE	SIN SPT
13	HS	100	102,5				NO TIENE	SIN SPT
14	HS	100	98,5	33,0	30,7	7,0	UN ELECTRODO DE PT	
15	HR	100	104,6				NO TIENE	SIN SPT
16	HR	150	110,6	37,1	33,5	9,6	UN ELECTRODO DE PT	
17	HS	100	97,2	32,6	37,2	14,0	UN ELECTRODO DE PT	
18	HR	150	107,9	36,2	32,0	11,5	UN ELECTRODO DE PT	
19	HS	150	116,6	39,1	36,8	5,9	UN ELECTRODO DE PT	
20	SIG	100	102,5				NO TIENE	SIN SPT
21	HR	100	103,2	34,6	35,8	3,4	UN ELECTRODO DE PT	
22	HS	100	40,2	13,5	13,7	1,6	UN ELECTRODO DE PT	
23	HS	90	40,9	13,7	15,0	9,4	UN ELECTRODO DE PT	
24	HR	80	42,2	14,2	13,8	2,5	UN ELECTRODO DE PT	
25	HS	80	28,8	9,7	8,5	12,0	UN ELECTRODO DE PT	
26	HS	200	12,1	4,0	4,7	15,9	UN ELECTRODO DE PT	
27	HR	80	38,2	12,8	12,2	5,1	UN ELECTRODO DE PT	
28	HR	80	41,6				NO TIENE	SIN SPT
DATOS	VALOR	DESCRIPCION		NORMA IEEE STD 142-1991			* SPT: SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	
a	0,0079375	Radio del electrodo en [m]		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$			* El dato de resistividad es el promedio de las mediciones realizadas	
L	3	Longitud del electrodo bajo tierra en [m]						
ρ		Resistividad del terreno en [ohmios-m]						

Realizado por: Autores

Tabla 12: Valores de medición del SPT actual de la línea Samanga - Pillaro

MEDICIONES DEL SPT ACTUAL CON MEGGER DTEC24 - LINEA 69 KV SAMANGA - PILLARO								
ESTRUCTURA		VANO ADELANTE [m]	RESISTIVIDAD PROMEDIO ρ [$\Omega \cdot m$]	RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA R[Ω]			SISTEMA ACTUAL DE SPT	OBSERVACIONES
N°	TIPO			1 VARILLA CALCULADO	1 VARILLA MEDIDO	% ERROR		
29	HS	20	89,1	27,6	29,2	5,7	UN ELECTRODO DE PT	
30	HR	80	78,4				NO TIENE	SIN SPT
31	SUIG	80	81,1				NO TIENE	SIN SPT
32	SUIG	80	82,4				NO TIENE	SIN SPT
33	ARR	18	73,1	27,0	24,9	7,6	UN ELECTRODO DE PT	
34	ARR	80	95,8	30,1	83,3	176,5	UN ELECTRODO DE PT	SPT CORTADA
35	SUIG	80	81,1				NO TIENE	SIN SPT
36	ARR	70	80,4				NO TIENE	SIN SPT
37	ARR	80	89,8	18,2	16,1	11,9	UN ELECTRODO DE PT	
38	SIG	80	82,4				NO TIENE	SIN SPT
39	SIG	80	79,8				NO TIENE	SIN SPT
40	SIG	80	54,3	26,3	26,2	0,4	UN ELECTRODO DE PT	
41	SIG	80	81,1	20,7	107,5	419,9	UN ELECTRODO DE PT	SPT CORTADA
42	HR	80	71,7				NO TIENE	SIN SPT
43	ARR	80	78,4	20,0	17,8	11,0	UN ELECTRODO DE PT	
44	TR	75	61,7	14,8	14,7	0,9	UN ELECTRODO DE PT	
45	SUIG	80	70,4				NO TIENE	SIN SPT
46	SUIG	80	59,6				NO TIENE	SIN SPT
47	HR	100	44,2	14,8	16,6	11,9	UN ELECTRODO DE PT	
48	TR	150	113,9	38,2	37,7	1,4	UN ELECTRODO DE PT	
49	TS	400	120,6	40,5	40,3	0,5	UN ELECTRODO DE PT	
50	TS	100	124,7	41,8	45,5	8,8	UN ELECTRODO DE PT	
51	TS	80	105,9	35,5	36,0	1,4	UN ELECTRODO DE PT	
52	HR	100	112,6				NO TIENE	SIN SPT
53	SIG	100	100,5				NO TIENE	SIN SPT
54	SIG	100	97,2				NO TIENE	SIN SPT
55	SIG	100	73,7	24,7	25,0	1,0	UN ELECTRODO DE PT	
56	SUIG	100	83,8				NO TIENE	SIN SPT
57	SIG	100	64,3	21,6	23,7	9,8	UN ELECTRODO DE PT	
58	SIG	100	78,4				NO TIENE	SIN SPT
59	SUIG	100	63,0	21,1	22,5	6,5	UN ELECTRODO DE PT	
60	SIG	100	65,7				NO TIENE	SIN SPT
61	TR	100	62,3	20,9	20,2	3,5	UN ELECTRODO DE PT	
62	SUIG	100	65,7				NO TIENE	SIN SPT
63	SUIG	100	55,0	18,4	18,2	1,0	UN ELECTRODO DE PT	
64	ARR	100	42,2				NO TIENE	SIN SPT
65	SUIG	100	28,1				NO TIENE	SIN SPT
66	ARR	20	40,9	13,7	12,7	7,7	UN ELECTRODO DE PT	
DATOS	VALOR	DESCRIPCION	NORMA IEEE STD 142-1991			* SPT: SISTEMA DE PUESTA A TIERRA		
a	0,0079375	Radio del electrodo en [m]	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$			* El dato de resistividad es el promedio de las mediciones realizadas		
L	3	Longitud del electrodo bajo tierra en [m]						
ρ		Resistividad del terreno en [ohmios-m]						

Realizado por: Autores

El porcentaje de error entre el valor medio de puesta tierra y el calculado es considerable, ya que en algunos casos el cable de puesta a tierra está cortada y otras están deterioradas, aspectos que el modelo matemático no considera, pero se estableció un buen valor de coincidencia entre el medio y el calculado.

Análisis de la resistividad del suelo

Para realizar las mediciones de resistividad en los diferentes sectores de la línea de Subtransmisión en estudio se realizó una zonificación según los diferentes sectores que están incluidos en la trayectoria de la línea, facilitando la ubicación de la misma a los funcionarios de la empresa eléctrica.

A continuación, se detalla todas las zonas:

Tabla 13: Distribución de los sectores por zonas S/E Ambato – S/E Samanga.

ZONA	SECTORES
1	Urbano, Tres Juanes
2	La Victoria
3	Atahualpa
4	Macasto
5	Samanga

Realizado por: Autores.

En el trayecto de la línea de Subtransmisión desde la S/E Ambato hasta la S/E Samanga, se puede diferenciar 5 zonas bien marcadas por su tipo de terreno, cada zona tiene sus propias características que hacen que se diferencien de las demás con una simple inspección visual.

Tabla 14: Distribución de los sectores por zonas S/E Samanga – S/E Pillaro.

ZONA	SECTORES
1	Urbano, Parque Industrial Primera Etapa
2	Parque Industrial, Segunda Etapa
3	Guagra Corral
4	Pillaro

Realizado por: Autores.

De la misma manera en el trayecto de la línea desde la S/E Samanga hasta la S/E Pillaro se puede diferenciar 4 tipos de suelos reflejados en su resistividad característica de cada terreno

Se presenta una tabla con detalles de problemas existentes de diferentes sectores, los mismos que estarían influenciando en el valor de resistencia de puesta a tierra.

Tabla 15: Resumen de los problemas existentes en la trayectoria de la línea S/E Ambato-S/E Samanga

SECTOR (zona)	DIFICULTADES
Urbano, Tres Juanes	Resistencia de puesta a tierra por encima del valor normalizado Asentamiento de viviendas dentro de la franja de servidumbre Estructura sin puesta a tierra
La Victoria	Resistencia de puesta a tierra por encima del valor normalizado Conexión entre conductor y varilla mal estado Estructura sin puesta a tierra
Atahualpa	Resistencia de puesta a tierra por encima del valor normalizado Estructura sin puesta a tierra
Macasto	Resistencia de puesta a tierra por encima del valor normalizado Conductor de puesta a tierra roto Estructura sin puesta a tierra
Samanga	Estructura sin puesta a tierra

Realizado por: Autores

Tabla 16: Resumen de los problemas existentes en la trayectoria de la línea S/E Samanga-S/E Pillaro

SECTOR (zona)	DIFICULTADES
Parque industrial Primera Etapa	Resistencia de puesta a tierra por encima del valor normalizado Estructura sin puesta a tierra
Parque industrial Segunda Etapa	Resistencia de puesta a tierra por encima del valor normalizado Conexión entre conductor y varilla Estructura sin puesta a tierra
Guagra Corral	Resistencia de puesta a tierra por encima del valor normalizado Estructura sin puesta a tierra
Rural, Pillaro	Estructura sin puesta a tierra Conductor de puesta a tierra roto

Realizado por: Autores

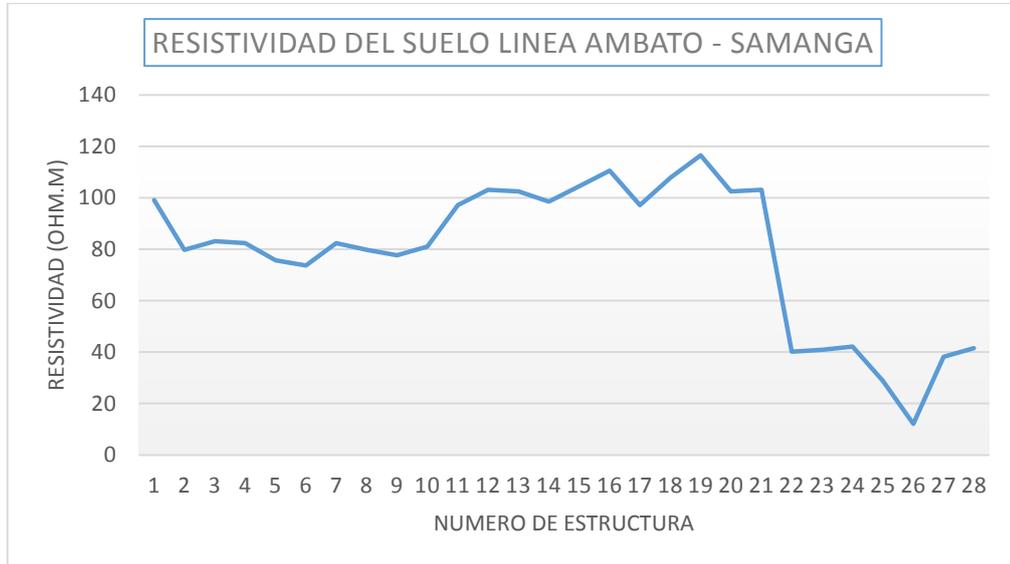
Como podemos observar en la tabla 15 y tabla 16 la mayoría de problemas son la resistencia de puesta a tierra por encima del valor normalizado, seguido por las estructuras sin puesta a tierra y por problemas de conexión entre el conductor y la varilla. Los problemas de conexión que mencionamos en estas tablas son de diferente índole tales como: conector corroído, conductor de puesta a tierra roto.

Evolución de la Resistividad del Suelo asociado a la Estructura de la Línea

Con los valores de resistividad del suelo se grafica la tendencia o evolución a lo largo de la línea, desde la salida de la subestación Ambato hasta la subestación Samanga donde se observa que la menor resistividad se obtiene a la llegada de la subestación y por ende presenta

mejores valores de resistencia de puesta a tierra en la zona 5 denominada Samanga y la mayor resistividad se encuentra en la zona 4 denominada Macasto.

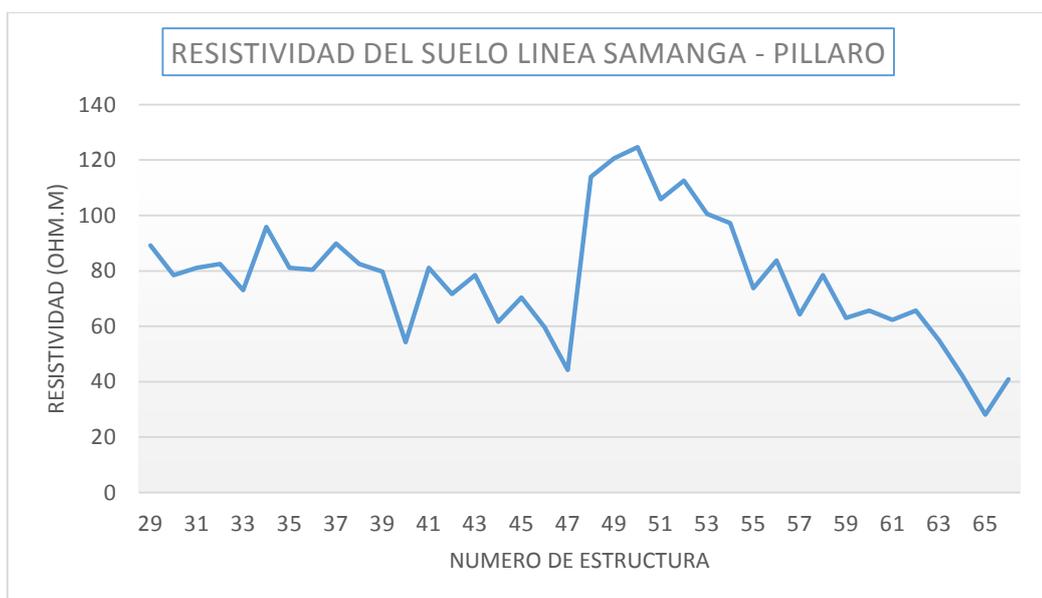
Gráfico 2. Perfil de resistividad del suelo de la línea S/E Ambato - S/E Samanga



Realizado por: Autores

Con los valores de resistividad del suelo se grafica la tendencia o evolución a lo largo de la línea, desde la salida de la subestación Samanga hasta la subestación Pillaro donde se observa que la menor resistividad se obtiene a la llegada de la subestación y por ende presenta mejores valores de resistencia de puesta a tierra en la zona 4 denominada entrada Pillaro y la mayor resistividad se encuentra en la zona 4 denominada Guagra Corral.

Gráfico 3. Perfil de resistividad del suelo de la línea S/E Samanga - S/E Pillaro



Realizado por: Autores

CATEGORIZACIÓN SEGÚN LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO SEGÚN EL VALOR DE RESISTIVIDAD

A continuación, con los valores promedios de resistividad del suelo de las estructuras se establece una categoría de suelo y tipo de suelo según la norma IEEE Std. 142.1991:

Tabla 17: Categorización según tipo del suelo Línea Ambato – Samanga

CATEGORIZACION SEGÚN DESCRIPCION DE SUELO - LINEA 69 KV AMBATO - SAMANGA				
ESTRUCTURA		RESISTIVIDAD PROMEDIO	RESISTIVIDAD PROMEDIO IEEE-STD-142-1991	DESCRIPCION DE SUELO
Nº	TIPO	ρ [$\Omega.m$]	ρ [$\Omega.m$]	
1	HR	99,2	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
2	HR	79,8	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
3	HR	83,1	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
4	HR	82,4	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
5	HS	75,7	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
6	HR	73,7	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
7	HR	82,4	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
8	HS	79,8	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
9	HR	77,7	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
10	HS	81,1	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
11	HS	97,2	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
12	HS	103,2	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
13	HS	102,5	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
14	HS	98,5	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
15	HR	104,6	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
16	HR	110,6	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
17	HS	97,2	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
18	HR	107,9	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
19	HS	116,6	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
20	SIG	102,5	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
21	HR	103,2	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
22	HS	40,2	10-50	Arenas silvestres, mezclas de arenas silvestres mal clasificadas
23	HS	40,9	10-50	Arenas silvestres, mezclas de arenas silvestres mal clasificadas
24	HR	42,2	10-50	Arenas silvestres, mezclas de arenas silvestres mal clasificadas
25	HS	28,8	20-40	Grava arcillosa, grava mal graduada, mezclas arena-arcilla
26	HS	12,1	5-20	Arenas arcillosas, mezclas de arcilla-arcilla mal clasificadas
27	HR	38,2	20-40	Grava arcillosa, grava mal graduada, mezclas arena-arcilla
28	HR	41,6	10-50	Arenas silvestres, mezclas de arenas silvestres mal clasificadas

Realizado por: Autores

En la línea Ambato – Samanga el suelo en su mayor parte presenta una resistividad máxima entre el rango de 100 – 250 ohm.m por lo tanto, según la norma IEEE Std. 142-1991 se tiene gravas mal graduada, mezcla de grava-arena, poca o ninguna finura. Además, se tiene un rango entre 5-20 ohm.m por ende en el sitio se tiene un suelo con arenas arcillosa, mezcla de arcilla-arcilla mal clasificada.

Tabla 18: Categorización según tipo del suelo Línea Samanga – Pillaro

CATEGORIZACION SEGÚN DESCRIPCION DE SUELO - LINEA 69 KV SAMANGA - PILLARO				
ESTRUCTURA		RESISTIVIDAD PROMEDIO ρ [Ω .m]	RESISTIVIDAD PROMEDIO IEEE-STD-142-1991 ρ [Ω .m]	DESCRIPCION DE SUELO
N°	TIPO			
29	HS	89,1	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
30	HR	78,4	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
31	SUIG	81,1	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
32	SUIG	82,4	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
33	ARR	73,1	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
34	ARR	95,8	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
35	SUIG	81,1	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
36	ARR	80,4	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
37	ARR	89,8	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
38	SIG	82,4	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
39	SIG	79,8	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
40	SIG	54,3	10-50	Arenas silvestres, mezclas de arenas silvestres mal clasificadas
41	SIG	81,1	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
42	HR	71,7	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
43	ARR	78,4	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
44	TR	61,7	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
45	SUIG	70,4	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
46	SUIG	59,6	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
47	HR	44,2	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
48	TR	113,9	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
49	TS	120,6	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
50	TS	124,7	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
51	TS	105,9	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
52	HR	112,6	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
53	SIG	100,5	100-250	Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
54	SIG	97,2	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
55	SIG	73,7	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
56	SUIG	83,8	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
57	SIG	64,3	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
58	SIG	78,4	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
59	SUIG	63,0	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
60	SIG	65,7	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
61	TR	62,3	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
62	SUIG	65,7	60-100	Grava bien graduada, mezclas de grava-arena, poca o ninguna finura
63	SUIG	55,0	10-50	Arenas silvestres, mezclas de arenas silvestres mal clasificadas
64	ARR	42,2	10-50	Arenas silvestres, mezclas de arenas silvestres mal clasificadas
65	SUIG	28,1	20-40	Grava arcillosa, grava mal graduada, mezclas arena-arcilla
66	ARR	40,9	10-50	Arenas silvestres, mezclas de arenas silvestres mal clasificadas

Realizado por: Autores

En la línea Samanga - Pillaro el suelo en su mayor parte presenta una resistividad máxima entre el rango de 100 – 250 ohm.m por lo tanto, según la norma IEEE Std. 142-1991 se tiene gravas mal graduada, mezcla de grava-arena, poca o ninguna finura. Además se tiene un rango entre 10-50 ohm.m por ende en el sitio se tiene un suelo arenas silvestres, mezclas de arenas silvestres mal clasificadas.

ANÁLISIS Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Es importante establecer que la solución más idónea consiste inicialmente en la instalación de la puesta a tierra en las estructuras que no tienen, de esta manera se fortalece el nivel de protección de las líneas desde su salida de Ambato hasta Pillaro.

En función de las mediciones y cálculos realizados con sus respectivos análisis se plantean las propuestas, además se consideran lineamientos de aspectos constructivos del departamento de Subtransmisión de la EEASA tanto técnicos y económicos, se establecen las siguientes alternativas:

1. Una varilla de puesta a tierra en las estructuras sin SPT
2. Dos varillas de puesta a tierra
3. Una varilla de puesta a tierra con contrapesos
4. Una varilla de puesta a tierra con mejoramiento de suelo

Para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra de las diferentes configuraciones tomaremos los datos de la resistividad del terreno obtenidos en la medición que se encuentra en la Tabla 17 y la Tabla 18, en adelante para cada ejemplo tomamos el valor de la resistividad del suelo de la estructura # 1.

1 varilla de puesta a tierra

Es el sistema más utilizado recomendado por las normas IEEE Std. 142-1991 para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra en suelos regulares mediante percusión, pero para el caso de terrenos rocosos los electrodos de varilla no deben ser enterado de esta manera. Además, una de las ventajas existentes que necesita un espacio mínimo para ser instalado. La varilla recomendada por normas para este tipo de instalaciones es la varilla Copperweld, de 0,016 m de diámetro y 3 m de longitud.

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{4l}{r} - 1 \right)$$

$$R = \frac{99,2 \Omega \cdot m}{2\pi * 3 m} \left(\ln \frac{4 * 3 m}{0,007938 m} - 1 \right) = 33,1 \Omega$$

2 varillas de puesta a tierra

Para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra de electrodos verticales es necesario tener en cuenta la separación entre ellos y además la disposición geométrica de los mismos. Así se tiene que para dos electrodos la resistencia de puesta a tierra la ecuación de la norma IEEE-142-1991.

$$R = \frac{\rho}{4\pi l} \left(\ln \frac{4l}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{l^2}{3s^2} + \frac{2l^4}{5s^4} \right)$$

$$R = \frac{99,2 \Omega \cdot m}{4\pi * 3 m} \left(\ln \frac{4 * 3 m}{0,007938 m} - 1 \right) + \frac{99,2 \Omega \cdot m}{4\pi * 3,10 m} \left(1 - \frac{(3 m)^2}{3 * (3,10 m)^2} + \frac{2 * (3 m)^4}{5 * (3,10 m)^4} \right) = 19,3 \Omega$$

Una varilla con contrapeso

La reducción de la resistencia de puesta a tierra dependerá también de este tipo de sistemas es decir de añadir contrapesos a sistema que se encuentra con problema y analizar su influencia.

Para este análisis se anexará a la disposición de una varilla enterrada verticalmente, la instalación de contrapeso de 3 m de distancia a cada lado de la varilla. La varilla recomendada por normas nacionales y más apropiadas para este tipo de instalaciones es la varilla Copperweld, de 0,016m de diámetro y 3m de longitud. El contrapeso se debe realizar con el mismo calibre del conductor de puesta a tierra requerido para la estructura.

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} * \left(\ln \frac{l}{r} + \ln \frac{l}{2h} \right)$$

$$R = \frac{99,2 \Omega \cdot m}{2\pi * 3 m} * \left(\ln \frac{3 m}{0,00468 m} + \ln \frac{3 m}{2 * 0,6 m} \right) = 8,6 \Omega$$

1 varilla con mejoramiento de suelo

Con la finalidad de disminuir la resistencia de puesta a tierra de un electrodo vertical se puede situar el mismo en un medio artificial, para lo cual se hace un hueco en el centro del cual va el electrodo y el resto se rellena de un material de más baja resistividad que la tierra circundante. En este caso la resistencia de puesta a tierra está dada por la fórmula de la norma CIPEL-

CUBA para calcular la resistencia de puesta a tierra de un electrodo vertical rodeado de un suelo artificial.

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left[(\rho - \rho_c) \ln\left(\frac{8l}{d} - 1\right) + \rho_c \ln\left(\frac{8l}{d} - 1\right) \right]$$

$$R = \frac{99,2 \Omega \cdot m}{2\pi * 3 m} \left[(9,92 \Omega \cdot m - 10 \Omega \cdot m) \ln\left(\frac{8 * 3 m}{0,01588 m} - 1\right) + 10 \Omega \cdot m * \ln\left(\frac{8 * 3 m}{0,01588 m} - 1\right) \right] = 22,1 \Omega$$

Tabla 19: Resultados de RPT de la Línea Ambato - Samanga

PROPUESTA PARA MEJORAR LOS SPT - LINEA 69 KV AMBATO - SAMANGA									
ESTRUCTURA		VANO ADELANTE [m]	RESISTIVIDAD PROMEDIO ρ [$\Omega \cdot m$]	RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA R[Ω]				SISTEMA A APLICAR POR RESULTADO	OBSERVACIONES
N°	TIPO			1 VAR	2 VAR	1 VAR CON MEJORAMIENTO DE SUELO	1 VAR CON CONTRAPEO (3m por lado)		
1	HR	100	99,2	33,3	17,8	22,1	8,6	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
2	HR	80	79,8	26,7	14,3	18,1	7,3	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
3	HR	100	83,1	27,9	14,9	18,8	7,5	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
4	HR	100	82,4	27,6	14,8	18,7	7,4	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
5	HS	100	75,7	25,4	13,6	17,3	7,0	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
6	HR	200	73,7	24,7	13,2	16,9	6,8	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
7	HR	200	82,4	27,6	14,8	18,7	7,4	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
8	HS	200	79,8	26,7	14,3	18,1	7,3	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
9	HR	200	77,7	26,1	13,9	17,7	7,1	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
10	HS	200	81,1	27,2	14,5	18,4	7,3	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
11	HS	200	97,2	32,6	17,4	21,7	8,4	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
12	HS	100	103,2	34,6	18,5	22,9	8,8	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
13	HS	100	102,5	34,4	18,4	22,8	8,8	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
14	HS	100	98,5	33,0	17,6	22,0	8,5	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
15	HR	100	104,6	35,1	18,7	23,2	8,9	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
16	HR	150	110,6	37,1	19,8	24,4	9,3	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
17	HS	100	97,2	32,6	17,4	21,7	8,4	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
18	HR	150	107,9	36,2	19,3	23,9	9,1	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
19	HS	150	116,6	39,1	20,9	25,7	9,6	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
20	SIG	100	102,5	34,4	18,4	22,8	8,8	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
21	HR	100	103,2	34,6	18,5	22,9	8,8	1 VAR+CONTRAPEO	Valor de R Calculado
22	HS	100	40,2	13,5				1 VAR	Valor de R Calculado
23	HS	90	40,9	13,7				1 VAR	Valor de R Calculado
24	HR	80	42,2	14,2				1 VAR	Valor de R Calculado
25	HS	80	28,8	9,7				1 VAR	Valor de R Calculado
26	HS	200	12,1	4,0				1 VAR	Valor de R Calculado
27	HR	80	38,2	12,8				1 VAR	Valor de R Calculado
28	HR	80	41,6	13,9				1 VAR	Valor de R Calculado

Realizado por: Autores

En la Tabla 19 observamos que con los valores resultantes de la resistencia de puesta a tierra son diferentes de acuerdo a las condiciones particulares de cada sitio, ya que no va hacer en todas las estructuras iguales porque los parámetros de resistividad y tipo de suelo son diferentes, ya que con la propuesta de mejoramiento se encuentra con el valor normalizado para este tipo de estructuras que es de $20[\Omega]$.

Tabla 20: Resultados de RPT de la Línea Samanga – Pillaro

PROPUESTA PARA MEJORAR LOS SPT - LINEA 69 KV SAMANGA-PILLARO									
ESTRUCTURA		VANO ADELANTE [m]	RESISTIVIDAD PROMEDIO ρ [Ω .m]	RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA R[Ω]				SISTEMA A APLICAR POR RESULTADO	OBSERVACIONES
N°	TIPO			1 VAR	2 VAR (S > L)	1 VAR CON MEJORAMIENTO DE SUELO	1 VAR CON CONTRAPESO (3m por lado)		
29	HS	20	89,1	29,9	17,3	20,0	7,7	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
30	HR	80	78,4	26,3	15,2	17,9	7,0	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
31	SUIG	80	81,1	27,2	15,8	18,4	7,2	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
32	SUIG	80	82,4	27,6	16,0	18,7	7,3	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
33	ARR	18	73,1	24,5	14,2	16,8	6,6	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
34	ARR	80	95,8	32,1	18,6	21,4	8,1	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
35	SUIG	80	81,1	27,2	15,8	18,4	7,2	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
36	ARR	70	80,4	27,0	15,6	18,3	7,1	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
37	ARR	80	89,8	30,1	17,5	20,2	7,7	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
38	SIG	80	82,4	27,6	16,0	18,7	7,3	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
39	SIG	80	79,8	26,8	15,5	18,1	7,1	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
40	SIG	80	54,3	18,2				1 VAR	Valor de R Calculado
41	SIG	80	81,1	27,2	15,8	18,4	7,2	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
42	HR	80	71,7	24,0	13,9	16,5	6,5	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
43	ARR	80	78,4	26,3	15,2	17,9	7,0	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
44	TR	75	61,7	20,7	12,0	14,4	5,8	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
45	SUIG	80	70,4	23,6	13,7	16,2	6,4	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
46	SUIG	80	59,6	20,0				1 VAR	Valor de R Calculado
47	HR	100	44,2	14,8				1 VAR	Valor de R Calculado
48	TR	150	113,9	38,2	22,1	25,1	9,2	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
49	TS	400	120,6	40,5	23,4	26,5	9,5	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
50	TS	100	124,7	41,8	24,2	27,3	9,8	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
51	TS	80	105,9	35,5	20,6	23,5	8,7	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
52	HR	100	112,6	37,8	21,9	24,8	9,1	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
53	SIG	100	100,5	33,7	19,5	22,4	8,4	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
54	SIG	100	97,2	32,6	18,9	21,7	8,2	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
55	SIG	100	73,7	24,7	14,3	16,9	6,7	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
56	SUIG	100	83,8	28,1	16,3	19,0	7,3	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
57	SIG	100	64,3	21,6	12,5	15,0	6,0	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
58	SIG	100	78,4	26,3	15,2	17,9	7,0	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
59	SUIG	100	63,0	21,1	12,2	14,7	5,9	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
60	SIG	100	65,7	22,0	12,8	15,3	6,1	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
61	TR	100	62,3	20,9	12,1	14,6	5,8	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
62	SUIG	100	65,7	22,0	12,8	15,3	6,1	1 VAR+CONTRAPESO	Valor de R Calculado
63	SUIG	100	55,0	18,4				1 VAR	Valor de R Calculado
64	ARR	100	42,2	14,2				1 VAR	Valor de R Calculado
65	SUIG	100	28,1	9,4				1 VAR	Valor de R Calculado
66	ARR	20	40,9	13,7				1 VAR	Valor de R Calculado

Realizado por: Autores

ALTERNATIVAS ADICIONALES PARA EL MEJORAMIENTOS DE LOS SPT

Se presenta otras alternativas que permiten obtener valores bajos de resistencia de puesta a tierra de las estructuras de la línea de Subtransmisión en estudio, considerando parámetros obtenidos durante la investigación y que permiten obtener valores menores de los 20 ohm.

Es importante considerar que son alternativas que quedan establecidas matemáticamente, ya que, la empresa eléctrica Ambato aplicara sistemas de puesta a tierra que sean simples aprovechando que los valores de resistividad de los suelos en estudio son aceptables.

La implantación de estos sistemas planteados representa una restructuración total de los sistemas de puesta a tierra de las estructuras existentes, por lo tanto, estas alternativas pueden ser consideradas para diseños de SPT de nuevas líneas de ser el caso.

A continuación, se presentan los ejemplos de cálculos para los diferentes métodos:

Tres varillas conectadas linealmente (R_{3var}):

$$R_{1\text{ var}} = 33.3 \Omega$$

$$R_{n\text{ var}} = \frac{1}{n} * \left(R_{1\text{ var}} + \frac{\rho}{\pi * D} \sum_{i=2}^n \frac{1}{i} \right)$$

$$R_{3\text{ var}} = \frac{1}{3} * \left(33.3\Omega + \frac{99.2 \Omega \cdot m}{\pi * 3 m} \sum_{i=2}^3 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} \right) \right) = 14 \Omega$$

Cuatro varillas conectadas linealmente (R_{4var}):

$$R_{4\text{ var}} = \frac{1}{4} * \left(33.3\Omega + \frac{99.2 \Omega \cdot m}{\pi * 3 m} \sum_{i=2}^4 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} \right) \right) = 11.2 \Omega$$

Aro de cable:

Cable de cobre desnudo 2/0 [d=10.5mm] AWG, D= 3[m] (diámetro del aro de cobre), s=1.2 [m] (Profundidad a la que está enterado el conductor):

$$R_{\text{aro de cable de cobre}} = \frac{\rho}{2 * \pi^2 * D} * \left(\ln \left(\frac{8 * D}{d} \right) + \ln \left(\frac{4 * D}{s} \right) \right)$$

$$R_{\text{aro de cable de cobre}} = \frac{99.2 \Omega \cdot m}{2 * \pi^2 * 3 m} * \left(\ln \left(\frac{8 * 3 m}{0.0105 m} \right) + \ln \left(\frac{4 * 3 m}{1.2 m} \right) \right) = 16.8 \Omega$$

Finalmente se presentan los cuadros de las propuestas alternas sugeridas:

Tabla 21: Propuestas adicionales de SPT de la Línea Ambato - Samanga

PROPUESTAS ADICIONALES DE SPT - LINEA 69 KV AMBATO - SAMANGA									
ESTRUCTURA		VANO ADELANTE [m]	RESISTIVIDAD PROMEDIO ρ [Ω .m]	RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA R[Ω]				SISTEMA A APLICAR POR RESULTADO	OBSERVACIONES
N°	TIPO			1 VAR	3 VAR	4 VAR	ARO DE CABLE		
1	HR	100	99,2	33,3	14,0	11,2	16,8	4 VAR	Valor de R Calculado
2	HR	80	79,8	26,7	11,3	9,0	13,5	4 VAR	Valor de R Calculado
3	HR	100	83,1	27,9	11,7	9,4	14,1	4 VAR	Valor de R Calculado
4	HR	100	82,4	27,6	11,6	9,3	14,0	4 VAR	Valor de R Calculado
5	HS	100	75,7	25,4	10,7	8,5	12,8	4 VAR	Valor de R Calculado
6	HR	200	73,7	24,7	10,4	8,3	12,5	4 VAR	Valor de R Calculado
7	HR	200	82,4	27,6	11,6	9,3	14,0	4 VAR	Valor de R Calculado
8	HS	200	79,8	26,7	11,3	9,0	13,5	4 VAR	Valor de R Calculado
9	HR	200	77,7	26,1	11,0	8,8	13,2	4 VAR	Valor de R Calculado
10	HS	200	81,1	27,2	11,5	9,1	13,7	4 VAR	Valor de R Calculado
11	HS	200	97,2	32,6	13,7	10,9	16,5	4 VAR	Valor de R Calculado
12	HS	100	103,2	34,6	14,6	11,6	17,5	4 VAR	Valor de R Calculado
13	HS	100	102,5	34,4	14,5	11,5	17,4	4 VAR	Valor de R Calculado
14	HS	100	98,5	33,0	13,9	11,1	16,7	4 VAR	Valor de R Calculado
15	HR	100	104,6	35,1	14,8	11,8	17,7	4 VAR	Valor de R Calculado
16	HR	150	110,6	37,1	15,6	12,4	18,7	4 VAR	Valor de R Calculado
17	HS	100	97,2	32,6	13,7	10,9	16,5	4 VAR	Valor de R Calculado
18	HR	150	107,9	36,2	15,2	12,1	18,3	4 VAR	Valor de R Calculado
19	HS	150	116,6	39,1	16,5	13,1	19,8	4 VAR	Valor de R Calculado
20	SIG	100	102,5	34,4	14,5	11,5	17,4	4 VAR	Valor de R Calculado
21	HR	100	103,2	34,6	14,6	11,6	17,5	4 VAR	Valor de R Calculado
22	HS	100	40,2	13,5	5,7	4,5	6,8	4 VAR	Valor de R Calculado
23	HS	90	40,9	13,7	5,8	4,6	6,9	4 VAR	Valor de R Calculado
24	HR	80	42,2	14,2	6,0	4,8	7,2	4 VAR	Valor de R Calculado
25	HS	80	28,8	9,7	4,1	3,2	4,9	4 VAR	Valor de R Calculado
26	HS	200	12,1	4,0	1,7	1,4	2,0	4 VAR	Valor de R Calculado
27	HR	80	38,2	12,8	5,4	4,3	6,5	4 VAR	Valor de R Calculado
28	HR	80	41,6	13,9	5,9	4,7	7,0	4 VAR	Valor de R Calculado

Realizado por: Autores

La tabla 21 representa los valores calculados de puesta a tierra de la línea de subtransmisión S/E Ambato – S/E Samanga para 3 varillas, 4 varillas y el aro de cable, en esta propuesta observamos que técnicamente mejora el valor de puesta a tierra teniendo valores mucho menores a los 20 ohm que es el objetivo para garantizar el funcionamiento del sistema, pero que económicamente no es viable debido al costo de implementación.

Tabla 22: Propuestas adicionales de SPT de la Línea Ambato - Samanga

PROPUESTAS ADICIONALES DE SPT - LINEA 69 KV SAMANGA-PILLARO									
ESTRUCTURA		VANO ADELANTE [m]	RESISTIVIDAD PROMEDIO ρ [Ω .m]	RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA R[Ω]				SISTEMA A APLICAR POR RESULTADO	OBSERVACIONES
N°	TIPO			1 VAR	3 VAR	4 VAR	ARO DE CABLE		
29	HS	20	89,1	29,9	12,6	10,0	15,1	4 VAR	Valor de R Calculado
30	HR	80	78,4	26,3	11,1	8,8	13,3	4 VAR	Valor de R Calculado
31	SUIG	80	81,1	27,2	11,5	9,1	13,7	4 VAR	Valor de R Calculado
32	SUIG	80	82,4	27,6	11,6	9,3	14,0	4 VAR	Valor de R Calculado
33	ARR	18	73,1	24,5	10,3	8,2	12,4	4 VAR	Valor de R Calculado
34	ARR	80	95,8	32,1	13,5	10,8	16,2	4 VAR	Valor de R Calculado
35	SUIG	80	81,1	27,2	11,5	9,1	13,7	4 VAR	Valor de R Calculado
36	ARR	70	80,4	27,0	11,4	9,1	13,6	4 VAR	Valor de R Calculado
37	ARR	80	89,8	30,1	12,7	10,1	15,2	4 VAR	Valor de R Calculado
38	SIG	80	82,4	27,6	11,6	9,3	14,0	4 VAR	Valor de R Calculado
39	SIG	80	79,8	26,8	11,3	9,0	13,5	4 VAR	Valor de R Calculado
40	SIG	80	54,3	18,2	7,7	6,1	9,2	4 VAR	Valor de R Calculado
41	SIG	80	81,1	27,2	11,5	9,1	13,7	4 VAR	Valor de R Calculado
42	HR	80	71,7	24,0	10,1	8,1	12,2	4 VAR	Valor de R Calculado
43	ARR	80	78,4	26,3	11,1	8,8	13,3	4 VAR	Valor de R Calculado
44	TR	75	61,7	20,7	8,7	6,9	10,5	4 VAR	Valor de R Calculado
45	SUIG	80	70,4	23,6	9,9	7,9	11,9	4 VAR	Valor de R Calculado
46	SUIG	80	59,6	20,0	8,4	6,7	10,1	4 VAR	Valor de R Calculado
47	HR	100	44,2	14,8	6,2	5,0	7,5	4 VAR	Valor de R Calculado
48	TR	150	113,9	38,2	16,1	12,8	19,3	4 VAR	Valor de R Calculado
49	TS	400	120,6	40,5	17,0	13,6	20,4	4 VAR	Valor de R Calculado
50	TS	100	124,7	41,8	17,6	14,0	21,1	4 VAR	Valor de R Calculado
51	TS	80	105,9	35,5	15,0	11,9	17,9	4 VAR	Valor de R Calculado
52	HR	100	112,6	37,8	15,9	12,7	19,1	4 VAR	Valor de R Calculado
53	SIG	100	100,5	33,7	14,2	11,3	17,0	4 VAR	Valor de R Calculado
54	SIG	100	97,2	32,6	13,7	10,9	16,5	4 VAR	Valor de R Calculado
55	SIG	100	73,7	24,7	10,4	8,3	12,5	4 VAR	Valor de R Calculado
56	SUIG	100	83,8	28,1	11,8	9,4	14,2	4 VAR	Valor de R Calculado
57	SIG	100	64,3	21,6	9,1	7,2	10,9	4 VAR	Valor de R Calculado
58	SIG	100	78,4	26,3	11,1	8,8	13,3	4 VAR	Valor de R Calculado
59	SUIG	100	63,0	21,1	8,9	7,1	10,7	4 VAR	Valor de R Calculado
60	SIG	100	65,7	22,0	9,3	7,4	11,1	4 VAR	Valor de R Calculado
61	TR	100	62,3	20,9	8,8	7,0	10,6	4 VAR	Valor de R Calculado
62	SUIG	100	65,7	22,0	9,3	7,4	11,1	4 VAR	Valor de R Calculado
63	SUIG	100	55,0	18,4	7,8	6,2	9,3	4 VAR	Valor de R Calculado
64	ARR	100	42,2	14,2	6,0	4,8	7,2	4 VAR	Valor de R Calculado
65	SUIG	100	28,1	9,4	4,0	3,2	4,8	4 VAR	Valor de R Calculado
66	ARR	20	40,9	13,7	5,8	4,6	6,9	4 VAR	Valor de R Calculado

Realizado por: Autores

En la tabla 22 se detalla los valores de cálculo para la puesta a tierra de la línea de subtransmisión S/E Samanga – S/E Pillaro para la propuesta de 3 varillas, 4 varillas y aro de cable, los mismos que técnicamente son viables para la aplicación pero devino al costo económico que implicaría su implementación no se recomienda realizarlos.

12. IMPACTO TÉCNICO

El estudio realizado presenta una gran trascendencia técnica y de seguridad, puesto que, permitiría garantizar la fiabilidad del sistema eléctrico de Subtransmisión de la línea Ambato - Samanga y Samanga - Pillaro, ya que, tendría valores de puesta a tierra en las estructuras de soporte de la línea dentro de los valores recomendados por normas descritas en el desarrollo del proyecto de titulación, esto en el mejor de los casos contribuirá a disminuir la probabilidad que el sistema eléctrico en estudio sufra daños debido a descargas atmosféricas o corrientes de falla según su origen, gracias a un adecuado funcionamiento de los SPT.

La propuesta realizada aporta además a garantizar la seguridad de las personas, animales que colindan los terrenos dentro del área afectada por la implantación de la estructura de soporte de las líneas analizadas en el presente estudio.

Por lo tanto, el estudio realizado tiene un impacto desde el punto de vista técnico al garantizar la seguridad tanto de personas, animales y equipos eléctricos que forman parte del entorno del proyecto, garantizar la continuidad del servicio eléctrico cuando se presenten problemas de sobre voltajes y sobre corrientes y que requieran el adecuado funcionamiento de los sistemas de puesta a tierra.

Es importante aclarar que al garantizar la no salida de la línea de Subtransmisión debido a un adecuado sistema de puesta a tierra, se transforma en mayor energía suministrada hacia los centros de carga, lo que representaría una mayor energía transmitida y facturada, generando mayor ingreso económico para la Empresa Eléctrica Ambato y además evita pagos por energía no suministrada debido a suspensiones de servicio e incluso multas por el ente regulador de la calidad de energía eléctrica ARCONEL por salidas no programadas

13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO

ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el análisis económico de esta propuesta nos basamos en los precios que nos proporcionaron distribuidores de material eléctrico de la ciudad de Quito como es JR. ELECTRIC SUPPLY y en la parte de mano de obra Diseño y Construcción de redes eléctricas y levantamiento topográfico, DICELTO.

Tabla 23: Costos unitarios de mano de obra y otros por día.

Ítem	Cant.	Descripción	Costo x día
1	1	Ingeniero eléctrico	\$ 40,00
2	1	Liniero	\$ 25,00
3	1	Peón	\$ 15,00
4	1	Transporte	\$ 60,00
5	1	Equipos de medición	\$ 50,00
TOTAL			\$ 190,00

Fuente: Diseño y construcción de redes eléctricas y levantamiento topográfico, DICELTO

Tabla 24: Costos unitarios de materiales.

Ítem	Cant.	Descripción	Costo Uni.
1	1	Dosis de 25 kg. favigel (tratamiento del suelo)	\$ 45,00
2	1	Varillas Copperweld de 5/8, Cu, de 3m	\$ 36,79
3	1	Suelda exotérmica (fast weld 90)	\$ 4,20
4	1	Conductor desnudo Nro. 1/0 AWG Cu	\$ 4,50
TOTAL			\$ 90,49

Fuente: JR. ELECTRIC SUPPLY

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS DIFERENTES PROPUESTAS

Una vez analizada las posibles configuraciones para el mejoramiento de la resistencia de puesta a tierra, basadas en normas nacionales e internacionales se procedió a realizar un análisis económico detallado para cada propuesta.

Para el análisis económico de las diferentes propuestas se tomará como referencia los precios unitarios detallados en la tabla 23 y tabla 24, este análisis nos servirá para tener una referencia y poder sacar una conclusión de que propuesta será técnica y económicamente viable.

El costo unitario del conductor desnudo Nro. 2 AWG Cu, no se tomó en cuenta en este análisis debido a que es una constante para cada una de las configuraciones propuesta, por tal motivo, este rubro se considerará en el presupuesto total.

Una varilla enterrada verticalmente.

El valor del costo total para la instalación de la configuración de una varilla enterada verticalmente, tomando en cuenta la mano de obra necesaria para la implementación de la misma se muestra en la tabla 25, tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

- El aspecto técnico así como la longitud de la varilla se realizara de acuerdo a la sección de análisis y propuesta de solución.
- Para las uniones se utilizará suelda exotérmica, para el caso en la unión del conductor con la varilla.
- Los valores de mano de obra del peón, técnico eléctrico y del ingeniero eléctrico se obtuvo de acuerdo con la tabla 23 y considerando el tiempo que se demorará cada uno para realizar su respectivo trabajo.

Tabla 25: Costos de implementación de la configuración una varilla enterrada verticalmente

PARTIDA A MATERIALES					
Ítem	Cant.	Descripción	Costo Uni.	Costo Total	
1	0	Conductor desnudo Nro. 2 AWG Cu	\$ 4,50	\$ -	
2	1	Varillas Copperweld de 5/8, Cu, de 3m	\$ 36,79	\$ 36,79	
3	1	Suelda exotérmica (fast weld 90)	\$ 4,20	\$ 4,20	
			TOTAL A	\$ 40,99	
PARTIDA B MANO DE OBRA					
Ítem	Cant.	Descripción	Costo Uni.	Factor tiempo	Costo Total
1	1	Ingeniero eléctrico	\$ 40	0,25	\$ 10,00
2	1	Técnico eléctrico	\$ 25	0,25	\$ 6,25
3	1	Peón	\$ 15	0,50	\$ 7,50
4	1	Herramienta y equipos de medición	\$ 50	0,125	\$ 6,25
			TOTAL B	\$ 30,00	
			TOTAL A+B	\$ 70,99	

Realizado por: Autores.

Dos varillas conectadas en paralelo y enterradas verticalmente

El valor del costo total para la instalación de la configuración de dos varillas conectadas en paralelo y enterada verticalmente, tomando en cuenta la mano de obra necesaria para la implementación de la misma se muestra en la tabla 26, tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

- El aspecto técnico así como la longitud de la varilla, la separación entre varilla, el conductor para el enlace entre varillas se realizara de acuerdo a la sección de análisis y propuesta de solución.
- Para las uniones se utilizará suelda exotérmica, para el caso en la unión del conductor con la varilla.
- Los valores de mano de obra del peón, técnico eléctrico y del ingeniero eléctrico se obtuvo de acuerdo con la tabla 23 y considerando el tiempo que se demorará cada uno para realizar su respectivo trabajo, resaltando que para la instalación de esta configuración se requiere mayor tiempo en comparación de la configuración de una varilla enterada verticalmente.

Tabla 26: Costos de implementación de la configuración dos varillas conectadas en paralelo y enterrada verticalmente

PARTIDA A MATERIALES					
Ítem	Cant.	Descripción	Costo Uni.	Costo Total	
1	7	Conductor desnudo Nro. 2 AWG Cu	\$ 4,50	\$ 31,50	
2	2	Varillas Copperweld de 5/8, Cu, de 3m	\$ 36,79	\$ 73,58	
3	2	Suelda exotérmica (fast weld 90)	\$ 4,20	\$ 8,40	
			TOTAL A	\$ 113,48	
PARTIDA B MANO DE OBRA					
Ítem	Cant.	Descripción	Costo Uni.	Factor tiempo	Costo Total
1	1	Ingeniero eléctrico	\$ 40	0,25	\$ 10,00
2	1	Técnico eléctrico	\$ 25	0,50	\$ 12,50
3	1	Peón	\$ 15	1,00	\$ 15,00
4	1	Equipos de medición	\$ 50	0,125	\$ 6,25
			TOTAL B	\$ 43,75	
			TOTAL A+B	\$ 157,23	

Realizado por: Autores.

Una varilla enterrada verticalmente más dos contrapesos

El valor del costo total para la instalación de la configuración de una varilla enterada verticalmente más dos contrapesos, tomando en cuenta la mano de obra necesaria para la implementación de la misma se muestra en la tabla 27, con las siguientes consideraciones.

- El aspecto técnico así como la longitud de la varilla, la longitud de cada contrapeso y el conductor que se debe utilizar para el mismo, se realizara de acuerdo a la sección de análisis y propuesta de solución.
- Para las uniones se utilizará suelda exotérmica, para el caso en la unión del conductor con la varilla.
- Los valores de mano de obra del peón, técnico eléctrico y del ingeniero eléctrico se obtuvo de acuerdo con la tabla 23 y considerando el tiempo que se demorará cada uno para realizar su respectivo trabajo.

Tabla 27: Costos de implementación de la configuración una varilla enterrada verticalmente más dos contrapesos.

PARTIDA A MATERIALES					
Ítem	Cant.	Descripción	Costo Uni.	Costo Total	
1	6	Conductor desnudo Nro. 2 AWG Cu	\$ 4,50	\$ 27,00	
2	1	Varillas Copperweld de 5/8, Cu, de 3m	\$ 36,79	\$ 36,79	
3	1	Suelda exotérmica (fast weld 90)	\$ 4,20	\$ 4,20	
			TOTAL A	\$ 67,99	
PARTIDA B MANO DE OBRA					
Ítem	Cant.	Descripción	Costo Uni.	Factor tiempo	Costo Total
1	1	Ingeniero eléctrico	\$ 40	0,25	\$ 10,00
2	1	Técnico eléctrico	\$ 25	0,25	\$ 6,25
3	1	Peón	\$ 15	0,75	\$ 11,25
4	1	Equipos de medición	\$ 50	0,125	\$ 6,25
			TOTAL B	\$ 33,75	
			TOTAL A+B	\$ 101,74	

Realizado por: Autores.

Una varilla enterrada verticalmente con mejoramiento del suelo

El valor del costo total para la instalación de la configuración de una varilla enterada verticalmente con mejoramiento de suelo, tomando en cuenta la mano de obra necesaria para la implementación de la misma se muestra en la tabla 28, tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

- Para la instalación de la varilla vertical se usará el suelo artificial FAVIGEL, los fabricantes recomiendan una dosis de 25 kg por pozo de varilla vertical
- Para las uniones se utilizará suelda exotérmica, para el caso en la unión del conductor con la varilla.
- Los valores de mano de obra del peón, técnico eléctrico y del ingeniero eléctrico se obtuvo de acuerdo con la tabla 23 y considerando el tiempo que se demorará cada uno para realizar su respectivo trabajo.

Tabla 28: Costos de implementación de la configuración una varilla enterrada verticalmente con mejoramiento del suelo.

PARTIDA A MATERIALES					
Ítem	Cant.	Descripción	Costo Uni.	Costo Total	
1	1	Dosis de 25 kg. favigel (tratamiento del suelo)	\$ 45,00	\$ 45,00	
2	1	Varillas Copperweld de 5/8, Cu, de 3m	\$ 36,79	\$ 36,79	
3	1	Suelda exotérmica (fast weld 90)	\$ 4,20	\$ 4,20	
			TOTAL A	\$ 85,99	
PARTIDA B MANO DE OBRA					
Ítem	Cant.	Descripción	Costo Uni.	Factor tiempo	Costo Total
1	1	Ingeniero eléctrico	\$ 40	0,25	\$ 10,00
2	1	Técnico eléctrico	\$ 25	0,25	\$ 6,25
3	1	Peón	\$ 15	0,50	\$ 7,50
4	1	Herramienta y equipos de medición	\$ 50	0,125	\$ 6,25
			TOTAL B	\$ 30,00	
			TOTAL A+B	\$ 115,99	

Realizado por: Autores.

ANÁLISIS FINANCIERO

Tabla 29: Resumen de costos para cada configuración.

Orden	Configuración	Costo [\$]
1	Una varilla enterrada verticalmente.	70,99
2	Una varilla enterrada verticalmente más dos contrapesos	101,74
3	Con una varilla vertical con mejoramiento de suelo	115,99
4	Dos varillas conectadas en paralelo y enterradas verticalmente	157,23

Realizado por: Autores.

Según la tabla 29 se describen las configuraciones en orden económicamente viables, de ahí que se realizara un análisis técnico siendo este el de mayor importancia, debido que se debe garantizar una resistencia de puesta a tierra de $R = 20[\Omega]$ en cada estructura con la resistividad del suelo correspondiente.

En adelante el presupuesto general se basará en las configuraciones mencionadas, tomando en cuenta que los materiales y la mano de obra para la instalación de cada configuración varían. Así mismo se tomarán en cuenta las estructuras que no cuentan con una puesta a tierra los mismos que se encuentran en el Anexo 3.

PRESUPUESTO GENERAL

Debido a que el sistema de puesta a tierra de la línea de Subtransmisión S/E Ambato - S/E Samanga y S/E Samanga - S/E Pillaro no cumplen con la resistencia establecida por las normas nacionales e internacionales y de acuerdo a la tabla 19, tabla 20 y tabla 29 la configuración técnica y económicamente viable es la de una varilla con contrapeso, en las estructuras donde la resistividad de terreno es menor la configuración propuesta es la de una varilla enterrada verticalmente.

Se sugiere incluir en el presupuesto general todos los materiales necesarios para la instalación de cada una de las configuraciones de acuerdo con la necesidad de cada zona, las zonas y sus respectivas estructuras se encuentran detalladas en el Anexo 3.

Tabla 30: Detalle de materiales para cada configuración.

Ítem	Nro. De Estructuras	Configuración	Descripción	Unidad	Valor	Valor Total
1	14	Una varilla enterrada verticalmente.	Conductor desnudo Nro. 2 AWG Cu	m	23	322
2			Varillas Copperweld de 5/8, Cu, de 3m	u	1	14
3			Suelda exotérmica (fast weld 90)	u	1	14
5	52	Una varilla enterrada verticalmente más dos contrapesos.	Conductor desnudo Nro. 2 AWG Cu	m	6	312
6			Varillas Copperweld de 5/8, Cu, de 3m	u	1	52
7			Suelda exotérmica (fast weld 90)	u	1	52
Resumen Total de Materiales				Unidad	Total	
Conductor desnudo Nro. 2 AWG Cu				m	634	
Varillas Copperweld de 5/8, Cu, de 3m				u	66	
Suelda exotérmica (fast weld 90)				u	66	

Realizado por: Autores.

Tabla 31: Presupuesto general.

PARTIDA A MATERIALES				
Ítem	Cant.	Descripción	Costo U	Costo T.
1	634	Conductor desnudo Nro. 2 AWG Cu	\$ 7,45	\$ 2853,00
2	66	Varillas Copperweld de 5/8, Cu, de 3m	\$ 36,79	\$ 2.428,14
3	66	Suelda exotérmica (fast weld 90)	\$ 4,20	\$ 277,20
			TOTAL (no incluye IVA)	\$ 5558,34
PARTIDA B MANO DE OBRA				
Ítem	Cant.	Descripción	Costo U	Costo T.
1	14	Mano de obra (Una varilla enterada verticalmente)	\$ 30,00	\$ 420,00
2	52	Mano de obra (una varilla enterada verticalmente más dos contrapesos)	\$ 33,75	\$ 1755,00
3	66	Transporte	\$ 15,00	\$ 990,00
			TOTAL (no incluye IVA)	\$ 3165,00
RESUMEN PRESUPUESTO				
PARTIDA A MATERIALES			\$ 5558,34	
PARTIDA B MANO DE OBRA			\$ 3165,00	
TOTAL (no incluye IVA)			\$ 8723,34	

Realizado por: Autores.

La tabla 31 detalla el costo total de la propuesta económica, propuesta realizada de acuerdo a la tabla 19, tabla 20 y tabla 29 donde se consideran las propuesta técnica y económicamente viables que incluyen una varilla enterada verticalmente y una varilla enterrada verticalmente más dos contrapesos de 3 m a cada lado. El costo total de esta propuesta incluyendo la mano de obra, el transporte, equipos para la verificación y los materiales necesarios para la implementación de las propuestas asciende a \$ 8723,34.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

CONCLUSIONES:

- Se determinó que la resistividad del suelo no presenta mucha variación en la trayectoria que comprende la línea de Subtransmisión en estudio, identificando las zonas de análisis para el tramo entre Ambato – Samanga y el tramo Samanga – Pillaro, siendo el sector de Macasto con mayor resistividad 116 ohm-metro y el sector de Samanga con menor resistividad 12,1 ohm-m.
- Se comprobó mediante mediciones de campo con los equipos para sistemas de puesta a tierra MEGGER DETC24C y el Teluometro CLAMP 4500, que en el sistema de puesta a tierra actual de las estructuras de la línea, sus valores de puesta a tierra no cumplen con lo que recomienda la norma IEEE STD 80 que debe oscilar entre los 20 ohm para líneas Subtransmisión y requieren propuesta para reducir su valor.
- Se identificó que el valor más bajo de resistencia de puesta a tierra fue de 12,8 ohm en la estructura HR-27 en el sector de Samanga y el valor más elevado fue de 122 ohm en la estructura HS-11 en el sector de la Victoria - Ambato, por lo tanto, la primera cumple y no requiere intervención y la segunda requiere actuación inmediata.
- Se determinó que de las 66 estructuras analizadas, 31 presentan un sistema de puesta a tierra a través de un electrodo de 3m directamente aterrizado, de las cuales tan solo una estructura presenta un valor menor a 20 ohm y las restantes 29 necesitaron optar por un propuesta para disminuir la resistencia de puesta a tierra y alcanzar valores recomendados por norma.
- Se plantearon alternativas para disminuir la resistencia de puesta a tierra en las estructuras con valores altos, siendo las más factibles técnicamente por el tipo de suelo y asentamiento de las estructuras: ubicación de un electrodo con contrapeso y en las zonas donde la resistividad del suelo son bajas la ubicación de una varilla lo que garantizara una resistencia de puesta a tierra debajo de los 20 ohm.
- Se determinó que la propuesta más económica fue la incorporación de un electrodo con contrapeso con un costo unitario total de \$ 101,74 por electrodo que incluye mano de obra y materiales, además técnicamente alcanza el objetivo de una resistencia de puesta a tierra de menos de 20 ohm, todas las propuestas cumplen técnicamente.

RECOMENDACIONES:

- Para medir la resistencia de puesta a tierra de estructuras de líneas de sub o transmisión con hilos de guarda, los mismos deben desconectarse de la estructura en análisis, puesto que, al dejar conectados se está midiendo la resistencia de todos los SPT de cada estructura de la línea conectada en paralelo mediante el cable de guarda.
- Es importante que se actué de forma inmediata en las estructuras HR – 6, HR – 10, correspondiente al tramo de la línea Ambato – Samanga ubicadas en el sector de los Tres Juanes y en las estructuras SIG-41 Y ARR-34 en el tramo Samanga- Pillaro sector Guagra Corral y Parque Industrial Ambato respectivamente, debido a que actualmente su puesta a tierra se encuentra cortada dejando desprotegida la estructura.
- Se recomienda que se realice la puesta a tierra de las estructuras que no tienen, considerando las opciones más técnicas – económicamente viables planteadas en este trabajo de investigación: sea con una varilla de puesta a tierra con contrapeso y en las estructuras donde la resistividad del terreno es considerablemente baja la instalación de una varilla enterada verticalmente.
- En la presente investigación se pudo identificar que existen puestas a tierra que están sujetadas con tuercas con las estructuras metálicas de la Torre, por lo cual, se recomienda la utilización de soldas exotérmicas para garantizar una mejor conectividad de la conexión a tierra.
- Se recomienda establecer un plan de seguimiento y evaluación de los sistemas de puesta a tierra instalados en los componentes que forman el sistema de Subtransmisión de la EEASA, con el objeto de establecer patrones de comportamiento de las puestas a tierra en función del tiempo de instalación y así proponer acciones preventivas inmediatas que garanticen valores adecuados de resistencia de puesta a tierra.

15. BIBLIOGRAFÍA:

- RAMÍREZ CASTAÑO, J. (2010). *SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA*. Colombia.
- CFE 00J00. (01-1980). *Recomendaciones para el Cálculo Preliminar de Redes de Tierra en Plantas y redes electricas.*
- CURILLO, C. (2012). *Cálculo de Sistema de Puesta a Tierra Aplicación de la Norma IEEE 80-2000*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/694/1/te326.pdf>
- DE OLIVEIRA, P. (2010). *Introducción a Sistemas de Puesta a Tierra de Sistemas Eléctricos de Potencia Aspectos Teóricos*. Venezuela.
- ERIKSON, A. (1991). *Guide to Procedures for Estimating the Lightning Performance*.
- HARPER, G. (2008). *Manual Técnico en Subestaciones Eléctricas*.
- MARKIEWICZ, H. (2012). *Puesta a Tierra y EMC*. Obtenido de *Sistemas de Puesta a Tierra Fundamentos de Cálculo y Diseño*
- MARTINEZ, J. A. (2007). *Coordinación de aislamiento en redes eléctricas de alta tensión*. España: Mc GRAW-HILL/ INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U.
- MOLINA, J. (2010). *Aspectos teóricos y prácticos de Sistemas de Puesta a Tierra*.
- Norma IEEE Std 80-2000. (s.f.).
- Norma RA6-015. (2008).
NORMAS TÉCNICAS MEDIDA DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.
- ORTUONDO, N. (2010). *Método para el mejoramiento de puestas a tierra en terrenos de alta resistividad*. Chile.
- PAZMIÑO, J. L. (2011). *Proyecto de normalizacion para diseño de lineas de transmision aereas hasta 230 kv*. Quito.
- RIETIE. (2010). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas*.

ROJAS , G. (2007). Manual de Sistemas de Puesta a Tierra. *Manual de Sistemas de Puesta a Tierra*, 1 - 35.

TODEDANO G., J., & Martínez Requena, J. (2004). *Puesta a Tierra en Edificios y en Instalaciones Eléctricas*. Madrid: Thomson Paraninfo.

ANEXOS

ANEXO 2: VALORES MEDIDOS DE PUESTA A TIERRA LINEA DE SUBTRANSMISION S/E AMBATO – S/E SAMANGA

ESTRUCTURA		PUESTA A TIERRA	
N°	TIPO	INSTALACIÓN	MEDICIÓN [Ω]
	PORTICO	NO	-
1	HR	NO	-
2	HR	NO	-
3	HR	NO	-
4	HR	SI	52,7
5	HS	NO	-
6	HR	SI	254
7	HR	NO	-
8	HS	NO	-
9	HR	NO	-
10	HS	SI	228
11	HS	SI	103,5
12	HS	NO	-
13	HS	NO	-
14	HS	SI	43,9
15	HR	NO	-
16	HR	SI	47,9
17	HS	SI	65,2
18	HR	SI	29,1
19	HS	SI	46
20	SIG	NO	-
21	HR	SI	35,8
22	HS	SI	27,4
23	HS	SI	30
24	HR	SI	34,5
25	HS	SI	42,5
26	HS	SI	62,5
27	HR	SI	15,2
28	HR	NO	-
	PORTICO		-

LINEA DE SUBTRANSMISION S/E SAMANGA – S/E PILLARO

ESTRUCTURA		PUESTA A TIERRA	
N°	TIPO	INSTALACIÓN	MEDICIÓN (Ω)
	PORTICO	NO	-
29	HS	SI	73
30	HR	NO	-
31	SUIG	NO	-
32	SUIG	NO	-
33	ARR	SI	83
34	ARR	SI	166,5
35	SUIG	NO	-
36	ARR	NO	-
37	ARR	SI	32,1
38	SIG	NO	-
39	SIG	NO	-
40	SIG	SI	26,2
41	SIG	SI	215
42	HR	NO	-
43	ARR	SI	17,8
44	TR	SI	29,4
45	SUIG	NO	-
46	SUIG	NO	-
47	HR	SI	33,2
48	TR	SI	47,1
49	TS	SI	11,5
50	TS	SI	65
51	TS	SI	45
52	HR	NO	-
53	SIG	NO	-
54	SIG	NO	-
55	SIG	SI	31,2
56	SUIG	NO	
57	SIG	SI	29,6
58	SIG	NO	-
59	SUIG	SI	22,5
60	SIG	NO	-
61	TR	SI	33,6
62	SUIG	NO	-
63	SUIG	SI	22,8
64	ARR	NO	-
65	SUIG	NO	-
66	ARR	SI	21,1
	PORTICO		

ANEXO 3: MEDIDA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO LINEA DE SUBTRANSMISION S/E AMBATO – S/E SAMANGA

ZONA	ESTRUCTURA		SEPARACIÓN DE ELECTRODOS	PROFUNDIDAD DE ELECTRODOS	RESISTENCIA MEDIDA	RESISTIVIDAD DEL TERRENO
	N°	TIPO	a (m)	b (m)	R (Ω)	ρ (Ω*m)
1		PORTICO	3,2	0,15	4,9	99,7
	1	HR				
	2	HR				
	3	HR				
	4	HR				
	5	HS				
2	6	HR	3,2	0,15	4,1	82,4
	7	HR				
	8	HS				
	9	HR				
3	10	HS	3,2	0,15	5,1	102,5
	11	HS				
	12	HS				
	13	HS				
4	14	HS	3,2	0,15	5,8	116,6
	15	HR				
	16	HR				
	17	HS				
	18	HR				
	19	HS				
5	20	SIG	3,2	0,15	2,1	42,2
	21	HR				
	22	HS				
	23	HS				
	24	HR				
	25	HS				
	26	HS				
	27	HR				
28	HR					
		PORTICO				

LINEA DE SUBTRANSMISION S/E SAMANGA – S/E PILLARO

ZONA	ESTRUCTURA		SEPARACION DE ELECTRODOS	PROFUNDIDAD DE ELECTRODOS	RESISTENCIA MEDIDA	RESISTIVIDAD DEL TERRENO CALCULADO
	N°	TIPO	a (m)	b (m)	R (Ω)	ρ (Ω*m)
1		PORTICO	3,2	0,15	4,8	96,5
	29	HS				
	30	HR				
	31	SUIG				
	32	SUIG				
	33	ARR				
	34	ARR				
	35	SUIG				
	36	ARR				
	37	ARR				
	38	SIG				
	39	SIG				
2	40	SIG	3,2	0,15	6,4	92,5
	41	SIG				
	42	HR				
	43	ARR				
	44	TR				
	45	SUIG				
	46	SUIG				
	47	HR				
	48	TR				
	49	TS				
	50	TS				
3	51	TS	3,2	0,15	3,8	76,4
	52	HR				
	53	SIG				
	54	SIG				
	55	SIG				
	56	SUIG				
	57	SIG				
	58	SIG				
	59	SUIG				
	60	SIG				
4	61	TR	3,2	0,15	2,9	58,31
	62	SUIG				
	63	SUIG				
	64	ARR				
	65	SUIG				
	66	ARR				
		PORTICO				

ANEXO 4: PROFORMA MATERIAL LECTRICO



ELECTRIC SUPPLY

Quito, 10 de Julio del 2017

Señor:

JOHANA CHILQUINGA

Por medio de la presente nos permitimos hacerles llegar la siguiente proforma:

ITEM	CANT	DESCRIPCION	P.UNITARIO	P.TOTAL
1	1	DOSIS DE FAVIGEL (TRATAMIENTO DE SUELO)	45	45
2	1	VARILLA COPERWELL 5/8" Cu, 3m.	36,79	36,79
3	1	SUELDA 90 FAST WELD	4,2	4,2
4	1	CONDUCTOR DESNUDO N.- 2 AWG Cu	4,5	4,5
			SUBTOTAL	90,49
			IVA 12%	-
			TOTAL USD	90,49

CONDICIONES COMERCIALES:

FORMA DE PAGO: 50% CON LA O.C. 50% CONTRA ENTREGA

PLAZO DE ENTREGA: DE ACUERDO A VERIFICACION DE STOCK

LUGAR DE ENTREGA: OFICINAS JR ELECTRIC SUPPLY

VIGENCIA DE OFERTA: 3 DIAS.

EN ESPERA DE PODER ATENDERLO. ME
SUSCRIBO

Atentamente,

Jorge Mejía Lozada
VENTAS
243-4338 EXT 107 CEL:0998526442

Anexo 5: Evidencia fotográfico de trabajo de campo

Figura 1: Medición de puesta a tierra con la pinza (FLUKE)



Realizado por: Autores

Figura 2: Estructura con puesta a tierra desconectado



Realizado por: Autores

Figura 3: Estructura sin franja de servidumbre



Realizado por: Autores

Figura 4: Conexión del MEGGER para medir la resistividad del terreno



Realizado por: Autores

Figura 5: Valor medido de resistividad del terreno



Realizado por: Autores

Figura 6: Medición de resistividad del terreno.



Realizado por: Autores