

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

PROPUESTA DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA EN PUNTOS ESPECÍFICOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE EMELNORTE.

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

Autor:

Darío Javier Valencia Potosí

Director:

MSc. Pérez Cruz Segundo Hernán

Asesores:

Msc. Aguilar Gonzales Widmar Hernán

Msc. Vásquez Brito Alfonso Mauricio

Ibarra-Ecuador

Febrero 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1002920948		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Valencia Potosí Darío Javier		
DIRECCIÓN:	Otavalo –Ciudadela Rumiñahui		
EMAIL:	javi_azul89@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062924008	TELÉFONO MÓVIL:	0979201004

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	PROPUESTA DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA EN PUNTOS ESPECÍFICOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE EMELNORTE.
AUTOR:	Valencia Potosí Darío Javier
FECHA:	15/02/2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero En Mantenimiento Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Pérez Cruz Segundo Hernán

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 15 días del mes de Febrero de 2019

EL AUTOR:



Nombre: Darío Javier Valencia Potosí

Cedula: 1002920948



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Darío Javier Valencia Potosí, con cédula de ciudadanía Nro. 1002920948. manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es), del trabajo de grado denominado: **“PROPUESTA DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA EN PUNTOS ESPECÍFICOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE EMELNORTE”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de Ing. En Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Nombre: Darío Javier Valencia Potosí

Cédula: 1002920948

Ibarra, Febrero 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

Que la Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico con el tema: **PROPUESTA DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA EN PUNTOS ESPECÍFICOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE EMELNORTE**, ha sido desarrollado y terminado en su totalidad por el Sr. Valencia Potosí Darío Javier, con cédula de identidad: 100292094-8, bajo mi supervisión para lo cual firmo en constancia.

.....
MSc. Pérez Cruz Segundo Hernán

DIRECTOR

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres quienes fueron de gran apoyo y supieron darme las fuerzas necesarias para llegar al punto en el que me encuentro, mi más sincero agradecimiento a mis hermanos que gracias a su apoyo incondicional me ayudaron a culminar mis estudios.

A todos mis docentes, los cuales con su conocimiento y consejos supieron guiarme en el camino de la educación y superación personal.

Darío Valencia P.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a las personas más importante y especial en mi vida, mi madre Carmen Potosí que ha sido un ejemplo de superación y lucha en la vida contra cualquier obstáculo que se presente en ella.

Darío Valencia P.

TABLA DE CONTENIDOS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	IV
CERTIFICACIÓN	V
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA	VII
TABLA DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
Introducción	XVIII
Planteamiento del problema.	XIX
Justificación.	XX
Alcance.	XX
Viabilidad del trabajo.	XX
Objetivo General.	XXI
Objetivos Específicos.	XXI
CAPÍTULO I	1
1. Marco Teórico	1
1.1 Sistemas de puesta a tierra.	1
1.1.1 Elementos que integran un sistema de puesta a tierra.	1
1.1.2 Tipos de sistemas de puesta a tierra.	2
1.1.3 Clasificación de los sistemas de puesta a tierra.	2
1.2 Resistividad del terreno o suelo.	3
1.2.1 Factores que influyen en la resistividad.	4
1.2.2 Naturaleza del terreno.	4
1.2.3 La humedad.	5
1.2.4 La temperatura.	6
1.2.5 La salinidad.	7
1.2.6 La disposición de las capas del terreno.	8
1.2.7 Las variaciones estacionales.	8
1.2.8 Los factores de la naturaleza eléctrica.	8
1.3 Medidas de la resistividad del terreno y sistemas de puestas a tierra.	8
1.3.1 La medición de tierra.	9
1.3.2 Valor de resistencia de tierra.	9

1.3.3	Métodos de medida de resistividad.....	9
1.3.4	Método de Wenner.....	10
1.3.5	Método de Schlumberger.....	11
1.3.6	Interpretación de valores.....	12
1.3.7	Medición de la resistencia de una toma de tierra existente.....	12
1.3.8	Los distintos métodos para realizar la medición de la resistencia de puesta a tierra:.....	13
1.3.9	Cálculo de la resistencia de un electrodo.....	15
1.4	Los sistemas de puesta a tierra en centrales de generación, hidroeléctricas y redes eléctricas áreas.....	16
1.4.1	Ubicación de los sistemas de puesta a tierra en las líneas eléctricas aéreas de media y baja tensión.....	16
1.4.2	Ubicación de los sistemas de puesta a tierra en subestaciones eléctricas.....	17
1.4.3	Ubicación de los sistemas de puesta a tierra en centrales de generación eléctrica.....	18
1.5	Mantenimiento de Sistema de Puesta a Tierra.....	19
1.5.1	Valores recomendados de resistencia de puesta a tierra.....	20
1.5.2	Cronograma para los periodos de tiempo en la realización las diferentes actividades de inspección y mantenimientos a los sistemas de puesta a tierra. ...	20
1.5.3	Análisis y contrastación mediante la modelación matemática de un sistema de puesta a tierra.	21
1.5.4	Adecuación de la resistividad del terreno según las normas IEE Std 80-2000.	31
1.6	Procedimientos para elaborar un manual técnico.....	32
1.6.1	Delimitación o alcance del procedimiento.....	32
1.6.2	Recolección de la información.....	33
1.6.3	Análisis de la información y diseño del procedimiento.	33
1.6.4	Estructura de los manuales técnicos o de procedimientos.....	34
CAPÍTULO II.....		37
2.	Cuestionario realizado al personal de Emelnorte.....	37
2.1	Tabulación y análisis de los resultados del cuestionario realizado al personal encargado del Departamento de Fiscalización eléctrica.	37
2.2	Tabulación y análisis de los resultados del cuestionario realizado al personal encargado del Departamento de Subestaciones eléctrica.	48
2.3	Tabulación y análisis de los resultados del cuestionario realizado al personal de Dirección de Generación.	59
2.3	Tabulación y Análisis de los resultados del cuestionario realizado al personal encargado del mantenimiento y construcción de la Dirección de Distribución.....	74

CAPÍTULO III	84
3. Medición y análisis de los sistemas de puesta a tierra del sistema eléctrico de Emelnorte	84
3.1 Medición de un sistema de puesta a tierra instalado en el alimentador M2 de la subestación Alpachaca	84
3.1.1 Ubicación y componentes del sistema de puesta a tierra	84
3.1.2 Equipos y procedimiento utilizados para realizar la medición del sistema de puesta a tierra	85
3.1.3 Descripción y análisis de los resultados obtenidos en la medición	87
3.1.4 Elaboración del informe acerca del estado funcional del sistema de puesta a tierra que se realizó la medición	90
3.2 Medición de un sistema de mallas puesta a tierra instalado en la subestación El Rosal	92
3.2.1 Ubicación y componentes del sistema de puesta a tierra	92
3.2.2 Equipos y procedimiento utilizados para realizar la medición del sistema de puesta a tierra	92
3.2.3 Elaboración del informe acerca del estado funcional del sistema de puesta a tierra	96
3.3 Medición del sistema de puesta a tierra de la central de generación eléctrica El Ambi	100
3.3.1 Ubicación y componentes del sistema de puesta a tierra	100
3.3.2 Elaboración y modelado de las dimensiones de la malla a tierra para la central hidroeléctrica el Ambi	100
CAPÍTULO IV	104
4. Desarrollo del Manual	104
2.1 Composición estructural del manual	104
2.2 Etapas o fases en las que se distribuye el manual para cada procedimiento en la medición, análisis y mejoramiento de los diferentes sistemas de puesta a tierra ..	105
2.3 Anexos que compone el manual	106
CONCLUSIONES	107
RECOMENDACIONES	107
BIBLIOGRAFÍA	108
Anexo A	111
Encuesta realizada al personal de Emelnorte del Departamento de Fiscalización eléctrica	111
Anexo B	113
Encuesta realizada al personal de Emelnorte del Departamento de Subestaciones eléctricas	113
Anexo C	116

Encuesta realizada al personal de Emelnorte de la Dirección de Generación.....	116
Anexo D.....	118
Encuesta realizada al personal de Emelnorte encargado del mantenimiento y construcción de la Dirección de Distribución.....	118
Anexo E.....	120
Manual de propuesta de procedimientos para el análisis y mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra en el sistema eléctrico de Emelnorte.....	120
1. Introducción.....	122
2. Objetivos.....	122
3. Área del aplicación y alcance de procedimientos.....	122
4. Glosario de términos.....	122
<i>Definiciones y conceptos básicos.....</i>	<i>122</i>
5. Indicaciones del Manual.....	125
6. Desarrollo.....	125
6.1 Procedimiento para realizar las mediciones, análisis y mejoramiento de la resistividad del suelo para instalar un nuevo sistema de puestas a tierra.....	125
6.1.1 Fases A. Planificación y Preparación.....	125
6.1.2 Fase B. Trabajo de Campo.....	125
6.1.3 Fase C. Análisis de datos Recaudados.....	127
6.2 Procedimiento para medir, analizar y mejorar un sistema de puesta a tierra existente.....	130
6.2.1 Fases A. Planificación y Preparación.....	130
6.2.2 Fase B. Trabajo de Campo.....	131
6.2.3 Fase C. Análisis de datos Recaudados.....	133
6.3 Procedimiento para medir, analizar y mejorar un sistema de mallas de puesta a tierra.....	134
6.3.1 Fases A. Planificación y Preparación.....	134
6.3.2 Fase B. Trabajo de Campo.....	135
6.3.3 Fase C. Análisis de datos Recaudados.....	137
Caso 1.....	137
Caso 2.....	137
Primer método de análisis y solución.....	138
Segundo método de análisis y solución.....	151
7. Anexos.....	159
Anexo N° 1. Hojas para registrar los valores de Medición.....	159
Anexo N° 2. Tabla de valores de la resistividad del terreno.....	162
Anexo N° 3. Método de medición de la resistividad del suelo.....	163

Anexo N° 4. Ejemplo para ingreso de los valores en la hoja de registro de datos.....	165
Anexo N° 5. Descripción de materiales.....	166
Anexo N°6. Método de caída de tensión.....	167
Anexo N° 7. Tabla del calibre de los conductores de cobre desnudo.....	170

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Variaciones estacionales de la resistencia de la tierra (puesta a tierra: electrodo en un terreno arcilloso)	4
Fig. 2: Variación de la resistividad del suelo con respecto a la humedad a diferentes frecuencias.	6
Fig. 3: Temperatura del terreno	7
Fig. 4: Salinidad del terreno.....	7
Fig. 5: Variación de la resistividad en función de la Estratigrafía del terreno	8
Fig. 6: Comparacion del reparto de potencial y de líneas de corriente alrededor de una placa circular	11
Fig. 7: Método Schlumberger.....	11
Fig. 8: Medición de las tomas de tierra.	13
Fig. 9: Medida de tierra de tres polos.....	15
Fig. 10: Método de caída de potencial.....	15
Fig. 11: Sistemas de puesta a tierra en neutro de una línea eléctrica aérea.....	17
Fig. 12: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.	37
Fig. 13: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.	38
Fig. 14: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.	39
Fig. 15: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	40
Fig. 16: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	41
Fig. 17: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	42
Fig. 18: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	43
Fig. 19: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	44
Fig. 20: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	46
Fig. 21: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	47
Fig. 22: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	48
Fig. 23: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	49
Fig. 24: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	50
Fig. 25: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	51
Fig. 26: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	52
Fig. 27: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	53
Fig. 28: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	55
Fig. 29: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	56
Fig. 30: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	57
Fig. 31: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	58
Fig. 32: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	59

Fig. 33: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	60
Fig. 34: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	62
Fig. 35: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	63
Fig. 36: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	64
Fig. 37: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	66
Fig. 38: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	67
Fig. 39: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	69
Fig. 40: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	70
Fig. 41: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	71
Fig. 42: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	72
Fig. 43: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	74
Fig. 44: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	75
Fig. 45: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	76
Fig. 46: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	77
Fig. 47: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	79
Fig. 48: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	80
Fig. 49: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	81
Fig. 50: Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario	82
Fig. 51: Mapa del lugar de medición.	84
Fig. 52: Centro de transformación Aéreo	85
Fig. 53: Medición del sistema de puesta a tierra conectado con la bajante de tierra del transformador	88
Fig. 54: Medición del sistema de puesta a tierra desconectado la bajante de tierra del transformador	89
Fig. 55: Medición del sistema de puesta a tierra con el suelo húmedo.....	89
Fig. 56: Hoja técnica para informe de prácticas de medición de puestas a tierra.....	90
Fig. 57: Subestación en construcción	94
Fig. 58: Ruta elegida para realizar la medición de la malla de puesta a tierra	94
Fig. 59: Medición y marcación de las distancias para enterrar las picas del telurómetro	95
Fig. 60: Conexión y comprobación de continuidad de los cables del telurómetro	95
Fig. 61: Valores obtenidos en la medición.	96
Fig. 62: Curva del comportamiento de la resistencia de la malla.	99
Fig. 63: Hoja de cálculo para mallas de puesta a tierra con la norma IEEE Std 80-2000..	102

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. 1.....	5
TABLA 1. 2.....	9
TABLA 1. 3.....	14
TABLA 1. 4.....	16
TABLA 1. 5.....	20
TABLA 1. 6.....	21
TABLA 1. 7.....	27
TABLA 3. 8.....	86
TABLA 3. 9.....	91
TABLA 3. 10.....	97
TABLA 3. 11.....	98
TABLA 3. 12.....	99

RESUMEN

Un sistema de puesta a tierra es el elemento principal de protección de sobretensiones transitorias y corrientes de falla en los sistemas eléctricos. Estos sistemas de protección están contruidos bajo normas muy estrictas, ya que de su efectividad depende la integridad física de las personas que operan estos elementos, cumplen la función de proteger a los sistemas eléctricos dirigiendo y disipando las corrientes de falla a tierra.

En Ecuador no existe una norma propia para la regulación de los valores de construcción para sistemas de puesta a tierra, sin embargo, para fiscalizar las construcciones de los sistemas de puesta a tierra se utiliza normas internacionales. En la mayoría de los casos los sistemas de puesta a tierra no reciben la importancia necesaria para realizar mantenimientos y mejoramientos de los mismos, es por esta razón que se realizó una investigación, para recolectar información acerca del estado funcional y físico de los sistemas de puesta en Emelnorte, para crear un manual de ayuda para efectuar el análisis a los sistemas de puesta a tierra con la finalidad de hacer perfeccionamientos a estos sistemas.

La información que se procesó en este trabajo de grado corresponde a la empresa Emelnorte, está repartida en 3 partes, la cuales consisten en realizar encuestas, mediciones a los sistemas eléctricos de la empresa y modelamiento matemático de los sistemas de puestas a tierra para diferentes casos.

Con toda esta información se realizó un manual técnico, en el que se propone los procedimientos para realizar el análisis y mejoramiento, mediante investigaciones de campo y cálculos matemáticos de todos los elementos que conforman un sistema de puesta a tierra, sea para construir un nuevo sistema o para mejorar un sistema ya instalado.

Palabras claves: Sistema de puesta a tierra, normas, mediciones, modelamiento matemático, manual técnico, análisis y mejoramiento.

ABSTRACT

A grounding system is the main protection element for transient overvoltages and fault currents in electrical systems. These protection systems are built under very strict standards, since their effectiveness depends on the physical integrity of the people who operate these elements, they fulfill the function of protecting electrical systems by directing and dissipating ground fault currents.

In Ecuador there is no own standard for the regulation of construction values for grounding systems, however, international standards are used to control the construction of grounding systems. In most cases the earthing systems do not receive the necessary importance to carry out maintenance and improvements of the same, it is for this reason that an investigation was carried out, to collect information about the functional and physical state of the systems of laying in Emelnorte, to create a manual of help to carry out the analysis to the grounding systems in order to make improvements to these systems.

The information that was processed in this degree work corresponds to the company Emelnorte, is divided into 3 parts, which consist of conducting surveys, measurements to the company's electrical systems and mathematical modeling of grounding systems for different cases .

With all this information, a technical manual was prepared, which proposes the procedures to perform the analysis and improvement, through field investigations and mathematical calculations of all the elements that make up a grounding system, or to build a new system or to improve an already installed system.

Keywords: Grounding system, standards, measurements, mathematical modeling, technical manual, analysis and improvement.

Introducción

En la actualidad los sistemas de puesta a tierra son muy importantes para proteger a los equipos y personas contra descargas eléctricas sean por fallas del sistema eléctrico o descargas atmosféricas, la función que cumple el sistema de puesta a tierra es conducir la energía eléctrica hacia el suelo dispersándola en el mismo evitando la descarga eléctrica en las personas. Esta práctica ha ido evolucionando progresivamente desde su inicio, de manera que ahora existe normas, métodos y cálculos matemáticos para la construcción de estos sistemas que se estudiarán en este documento.

Definiciones y conceptos.

Puesta a tierra.

Comprende toda ligazón metálica directa sin fusible ni protección alguna, de sección suficiente, entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo, o grupo de electrodos, enterrados en el suelo, con objeto de conseguir que el conjunto de instalaciones, edificios y superficies próxima del terreno no existan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de falta o la descarga de origen atmosférico. (MADRID PLC MADRID, 2016, pág. 418).

Electrodo de puesta a tierra.

“Conductor o conjunto de conductores enterrado(s), que sirven para establecer una conexión con la tierra. Los conductores no aislados, colocados en contacto con tierra, para la conexión al electrodo, se consideran parte de este” (JESÚS TRASHORRAS , 2015, p. 205).

Mallas de tierra.

Una placa metálica sólida o un sistema de conductores desnudos muy próximos entre sí que están conectados y colocan a menudo en aguas poco profundas por encima de una malla de tierra o en otra parte a la superficie terrestre, a fin de obtener una medida adicional de protección minimizando el peligro de la exposición a altas tensiones de paso o contacto en un área de operación crítica o lugares que se utilizan con frecuencia por las personas. (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, Inc., 2000, pág. 6).

Resistividad de un terreno.

“Representa la resistencia específica del suelo a cierta profundidad o de un estrato del suelo; se obtiene indirectamente al procesar un grupo de medidas de campo; su magnitud se expresa en (Ωm) o (Ωcm), es inversa a la conductividad”. (Área Ingeniería Distribución-Sugerencia Redes Distribución, 2008, p. 2)

Objetivo de la puesta a tierra de un sistema eléctrico.

El objetivo de la puesta a tierra de un sistema eléctrico o la conexión intencional del conductor de una fase o neutro a tierra es.

- a. Estabilizar el voltaje a tierra.
- b. Promover un camino para que circule la corriente de falla a tierra, lo cual permitirá que los dispositivos de protección contra sobrecorriente opere para liberar la falla. (Oropeza, 2005, pág. 5)

Planteamiento del problema.

Las redes y sistemas eléctricos requieren de un sistema de puestas a tierra cuyo valor de resistencia depende de los equipos que han de instalarse en el sistema eléctrico, estos sistemas eléctricos pueden ser subestaciones, redes de distribución, transformadores y equipos electrónicos en general.

En la actualidad en la empresa Emelnorte no existe un documento homologado con los procedimientos, metodologías y normas que regulen la instalación, medición y mantenimiento de los sistemas de puesta a tierra, sin embargo, estas actividades han sido realizadas por medio del conocimiento adquirido en la práctica en el campo laboral, en otros casos por el conocimiento obtenido por los estudios académicos realizado de cada persona, lo que provoca que no se unifique estos conocimientos y no exista una guía o documento de información para realizar estos trabajos o un documento que sirva de guía para nuevos trabajadores que intervengan en esta área.

Emelnorte requiere mediante la aplicación de normas de un manual general de procedimientos para establecer el estado y mejoramiento de sus sistemas de puesta a tierra para garantizar la integridad de sus trabajadores y disminuir la probabilidad de accidentes eléctricos.

EL Problema.

¿Cómo elaborar un Manual de Procedimiento para el análisis y mejoramiento de los sistemas de puestas a tierra en puntos específicos del sistema eléctrico de Emelnorte?

Justificación.

El presente proyecto investigativo tiene como propósito elaborar un manual de procedimientos necesarios para determinar el estado de las puestas a tierra mediante la medición y análisis para el mejoramiento del sistema de puesta a tierra en sus instalaciones eléctricas, y de este modo cumplir con normas de seguridad para la protección de las personas.

Es fundamental la existencia de un manual de procedimientos general para la medición y análisis de puestas a tierra en los sistemas eléctricos de Emelnorte que tenga las actividades requeridas y normalizadas para realizar estos procedimientos con las debidas normas de seguridad y protección de las personas que interactúen en la medición de puestas a tierra, lo cual proporcione una adquisición de datos confiable y exacta.

Esta investigación tiene como fin crear un documento en el que se detalla los criterios técnicos para el correcto desempeño en el campo laboral de medición, corrección, mantenimiento y mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra acatando el reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas basado en las Normas IEEE Std. 80-2000.

Alcance.

Realizar el diagnóstico del sistema de puesta a tierra mediante la medición y cálculo de la resistencia de una puesta a tierra existente en elementos eléctricos del alimentador primario M2 de la subestación Alpachaca; medición del sistema de puesta a tierra de la Subestación El Rosal; medición del sistema de puesta a tierra de la central El Ambi.

Viabilidad del trabajo.

Con la finalidad de contribuir con la investigación acerca del estado físico y funcional de la puesta a tierra en los sistemas eléctricos de Emelnorte, la empresa colaboró prestando el equipo para la medición de la resistividad de las mallas de puestas a tierra e información necesaria para realizar las mediciones en los sistemas de puestas a tierra ya señalados en el alcance del proyecto, se realizó esta actividad de acuerdo a un cronograma planteado por la empresa que se efectúa anualmente para la medición rutinaria de sus equipos y mantenimiento de ellos (subestaciones y transformadores adyacentes, central hidroeléctrica y alimentadores de transmisión). La colaboración de Emelnorte se fundamenta en el convenio que tiene la Universidad y la empresa (Resolución No. 001-073 CEAACES-2013-13).

Objetivo General.

Elaborar un manual de procedimientos para el análisis y mejoramiento del funcionamiento de los sistemas de puesta a tierra en puntos específicos del sistema eléctrico de Media Tensión de Emelnorte.

Objetivos Específicos.

1. Recabar información de los procesos actualmente utilizados para determinar el estado de los sistemas de puesta a tierra.
2. Comparar la resistividad en puntos específicos del sistema eléctrico de Emelnorte y contrastarla mediante cálculos y modelamiento matemático de diseño para su mejoramiento.
3. Elaborar un manual de procedimientos para analizar el estado funcional de las puestas a tierra en el sistema eléctrico de Emelnorte.

CAPÍTULO I

1. Marco Teórico

1.1 Sistemas de puesta a tierra.

Es un elemento de protección que se conecta a los sistemas eléctricos para disipar las corrientes de falla al piso o suelo, en caso de un desperfecto en el sistema eléctrico, el sistema de puesta a tierra está compuesto por una o varias varillas conectados mediante uniones de compresión o suelda exotérmica, esta se encuentra enterrada en el suelo y conectadas al sistema eléctrico mediante un cable desnudo denominado bajante de aterramiento.

1.1.1 Elementos que integran un sistema de puesta a tierra.

En el sistema de puesta a tierra existen diferentes componentes una clasificación general seria la siguiente.

Electrodo de puesta a tierra.

“Conductor o conjunto de conductores enterrado(s), que sirven para establecer una conexión con la tierra. Los conductores no aislados, colocados en contacto con tierra, para la conexión al electrodo, se consideran parte de este” (JESÚS TRASHORRAS , 2015, p. 205)

Líneas de conducción a tierra.

“Son los encargados de conducir las intensidades derivadas hasta el electrodo de puesta a tierra. Es importante determinar su sección, de forma que no se puedan producir calentamientos inadmisibles” (Carrasco Sánchez, 2008, p. 121).

Punto o conexión de puesta a tierra.

Es el punto de unión entre la bajante y los octodos de tierra existen dos tipos de conexión mediante presión o sujeción y el segundo mediante soldadura exotérmica.

1.1.2 Tipos de sistemas de puesta a tierra.

Electrodo tipo varilla.

Las varillas o electrodos tipo varilla son los más ampliamente recomendados, tienen una longitud de 3.00m y un diámetro de 1/8 de pulgada, está conformada por una barra de acero recubierta con 0.025mm de cobre.

Electrodo tipo rehilete.

Cuando no es posible clavar una varilla en el suelo debido a las condiciones de este, por ejemplo, el suelo es tepetate, es utilizado el electrodo tipo rehilete. El rehilete es un electrodo formado por cuatro placas metálicas que forman una cruz. (Enríquez Harper, 2004, pág. 226)

Electrodo tipo placa.

Son de forma rectangular de cobre o hierro cincado, de al menos 4 mm de grosor, y una superficie útil nunca inferior a 0.5 m². Se colocan enterradas en posición vertical, de modo que su arista superior quede, como mínimo, a 50 cm bajo la superficie del terreno. En caso de ser necesarias varias placas, éstas se colocarán separadas una distancia de 3 m.

1.1.3 Clasificación de los sistemas de puesta a tierra.

Los sistemas de puesta a tierra se pueden clasificar por diferentes aspectos, estos pueden ser por el tipo de sistema eléctrico al que está instalado (electrónico, eléctrico, conexión neutra), por la naturaleza del mismo, sea artificial o natural etc. Para el presente proyecto lo clasificaremos por el número de elementos que lo componen.

Sistema de puesta a tierra simple.

Estos sistemas de puesta a tierra son los más convencionales, son sistemas simples que no necesitan de gran capacidad para disipar las corrientes de falla, tampoco de modelación matemática para instalar en un sistema eléctrico conformados por un solo electrodo o varilla enterrada en el piso, este sistema es para niveles de tensiones bajas, ya que su capacidad de resistividad es alta y está en el rango de los 15Ω a 25Ω, este sistema de puesta a tierra se lo emplea en casas y sistemas de derivación aérea de baja y media tensión.

Sistema de puesta a tierra de malla.

Este sistema de puesta a tierra es más complejo normalmente se lo denomina malla de puesta a tierra, por su configuración estructural su unión puede ser de varios electrodos y conductores desnudos de cobre mediante sueldas exotérmicas, se los utiliza en sistemas eléctricos de potencia como son subestaciones eléctricas, centros de generación eléctrica y transformadores de altos valores de potencia. Para construir e instalar estos sistemas de puesta a tierra es necesario realizar la modelación matemática en base a los valores de operación de los sistemas eléctricos a los que se los instalara; Existen normas que regulan y fiscalizan la modelación matemática, construcción e instalación de estos sistemas de puesta a tierra como es la norma internacional IEEE Std 80-2000.

1.2 Resistividad del terreno o suelo.

La resistividad es una característica que posee todos los elementos, en el campo eléctrico es la capacidad que tienen los materiales de oponerse al paso de la corriente, permitiendo circular la corriente con facilidad o no en el caso del suelo es muy variable por su contenido orgánico y mineral.

La resistividad (ρ) es un parámetro característico de los medios conductores su unidad en el sistema MKS es el $\Omega \cdot m$. El parámetro inverso la conductividad (σ) se expresa en Siemens/m. En un medio conductor homogéneo, isotrópico, el valor de la resistividad es igual en cualquier punto y dirección del medio. En el caso real de un terreno en cualquier parte del mundo es muy difícil, si no imposible, considerar éste homogéneo. La naturaleza propia de su constitución y por estar sometido a los efectos climáticos hacen, que aun en el caso de tener un terreno constituido por un solo material existan variaciones de su resistividad respecto a la profundidad, principalmente por la variación del nivel freático y del grado de compactación del material (Briceño, 2015, pág. 1).

Por ello una resistencia de tierra puede variar según las estaciones y las condiciones de medida. Dado que la temperatura y la humedad son más estables al alejarse de la superficie de la tierra, cuanto más profundo esté el sistema de puesta a tierra menos sensible será el mismo a los cambios medioambientales. Por lo tanto, se recomienda realizar la toma de tierra lo más profundo posible.

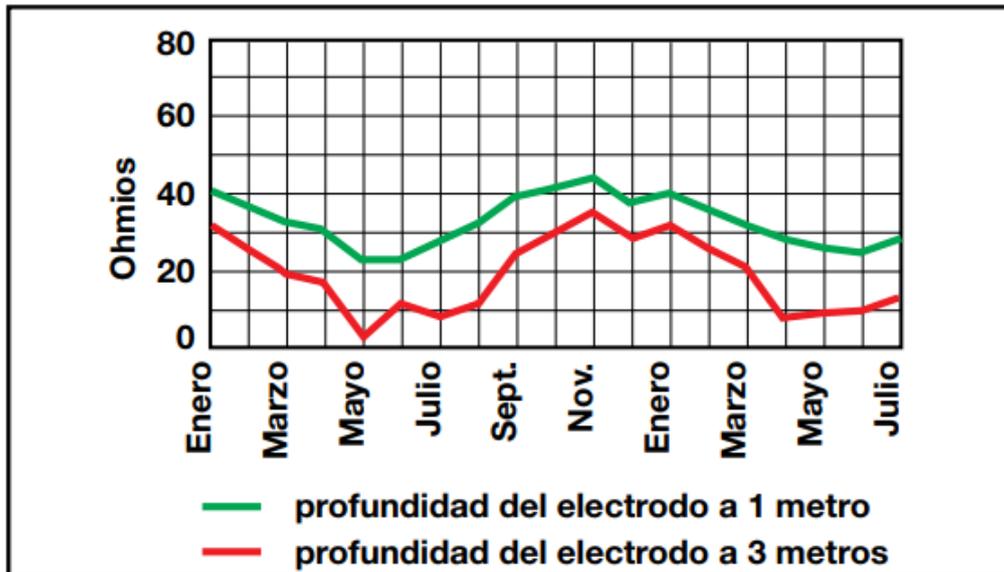


Fig. 1 Variaciones estacionales de la resistencia de la tierra (puesta a tierra: electrodo en un terreno arcilloso)
Fuente: (Briceño, 2015)

1.2.1 Factores que influyen en la resistividad.

Los factores que incluye en la resistividad son externos. De acuerdo a Moreno, Lasso, & Fernández (2016) “el valor de la resistividad del terreno no es constante en el tiempo y está afectado por muchos variables” (p.418), estos son:

- Naturaleza del terreno
- La humedad
- La temperatura
- La salinidad
- La disposición de las capas del terreno
- Las variaciones estacionales, los factores de naturaleza eléctrica (Moreno, Lasso, & Fernandez, 2016, pág. 418).

A continuación, se procede a describir brevemente a cada uno de los factores que influyen en la resistividad.

1.2.2 Naturaleza del terreno.

Según Enríquez (2005), “cuanto mayor sea la resistividad del terreno, más fácilmente se pueden alcanzar valores bajos para la resistencia de la instalación de los sistemas de tierra” (p.454). A continuación, se muestra una tabla con los diferentes valores de la resistividad del terreno.

TABLA 1. 1

Naturaleza del terreno en relación a la resistividad

Naturaleza del terreno	Resistividad ($\Omega.m$)
Terrenos pantanosos	de unas unidades a 30
Lodo	de 20 a 100
Humus	de 10 a 150
Margas del jurásico	de 30 a 40
Arena arcillosa	de 50 a 500
Arena silíceea	de 200 a 3.000
Terreno pedregoso desnudo	de 1.500 a 3.000
Terreno pedregoso recubierto de césped	de 300 a 500
Calizas tiernas	de 100 a 300
Calizas agrietadas	de 500 a 1000
Micacitas	800
Granitos y areniscas en alteración	de 1500 a 10.000
Granitas y areniscas muy alterados	de 100 a 600

Fuente: (Enriquez, 2005)

1.2.3 La humedad.

Es la característica más importante a considerar para realizar las mediciones del suelo y el mantenimiento de los sistemas de puesta a tierra, ya que este varía según las estaciones del año y la resistividad del suelo también cambiara sus valores dependiendo directamente de la humedad del mismo.

El contenido de agua o grado de humedad del terreno influye, de forma apreciable sobre su resistividad. Su valor no es constante, ya que varía con el clima, época del año, naturaleza del subsuelo, la profundidad considerada y la situación del nivel freático pero rara vez es nulo, incluso al referirse a zonas desérticas. A medida que el grado de humedad aumenta cuyo principal efecto es disolver las sales solubles, la resistividad disminuye con rapidez, pero a partir de cifras del orden del 15 % en peso, esta disminución es mucho menos acusada, a causa de la práctica saturación del terreno. (Moreno, Valencia, Cárdenas, & Villa, 2017, págs. 16-17).

Para realizar la medición del suelo es necesario realizarla en la época en que el suelo se encuentre seco o con un porcentaje de humedad cerna a cero, esto nos dará el valor real y más crítico que tiene la tierra a lo largo de todo el año.

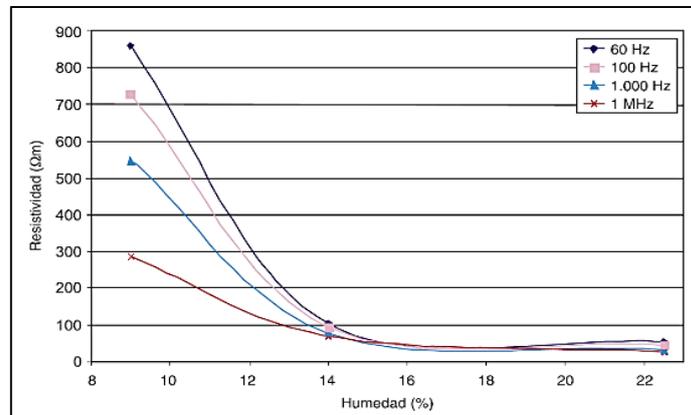


Fig. 2: Variación de la resistividad del suelo con respecto a la humedad a diferentes frecuencias.
Fuente: (Moreno, Valencia, Cárdenas, & Villa, 2017)

1.2.4 La temperatura.

En algunos lugares donde la temperatura varía drásticamente en el año es importante considerar este parámetro al momento de realizar el sistema de puesta a tierra, este caso se da en lugares donde puede nevar y las temperaturas llegan bajo los cero grados centígrados.

La resistividad del terreno aumenta a medida que desciende la temperatura y ese aumento se acusa mucho al alcanzarse los 0°C, hasta el punto que, a medida que es mayor la cantidad de agua en estado de congelación, se va reduciendo el movimiento de los electrolitos que, como se ha visto, influyen decisivamente en la resistividad del terreno, elevándose ostensiblemente la misma. El factor debe tenerse en cuenta en lugares muy fríos y especialmente en la sierra (Moreno, Fernandez, & Lasso, 2010, pág. 9).

Para nuestro estudio no es un dato muy importante ya que las temperaturas se mantienen constante y los cambios climáticos no son muy significativos como para variar el valor de la resistividad del suelo.

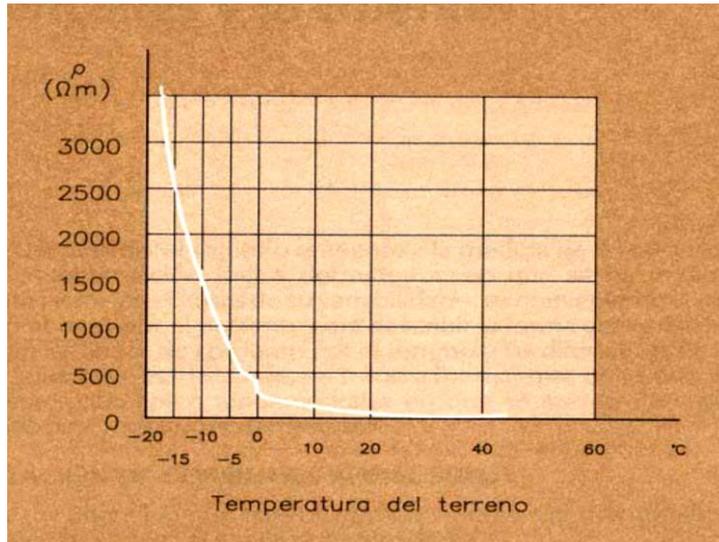


Fig. 3: Temperatura del terreno
Fuente: (Moreno, Fernandez, & Lasso, 2010).

1.2.5 La salinidad.

La concentración de sales disueltas en el terreno es un factor determinante en la resistividad del mismo. Al existir una mayor concentración de sal en el suelo, éste mejora su conductividad. En forma general, entonces, se podría establecer que mejor conductor es el terreno mientras mayor contenido de sal haya en él.

El agua disocia las sales en iones y cationes que se encargan de transportar los electrones por el terreno (Cárdenas & Galvis, 2011, pág. 20).

En la actualidad esta característica es muy aprovechada para mejorar la resistividad del suelo, se mezcla la tierra actual con sal en grano mejorando considerablemente el nivel de conductividad eléctrica del mismo.

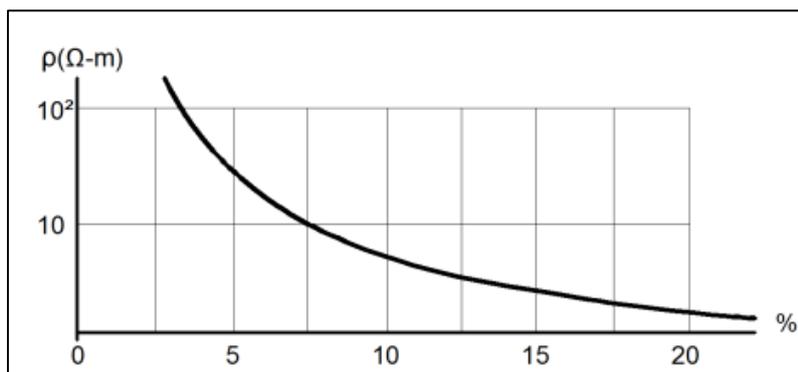


Fig. 4: Salinidad del terreno
Fuente: (Cárdenas & Galvis, 2011).

1.2.6 La disposición de las capas del terreno.

Una mayor compactación del suelo disminuye la distancia entre las partículas y se logra una mejor conducción a través de la humedad contenida. A medida que se aumenta el contenido de humedad, se alcanza una especie de saturación ya que el agua envuelve la mayoría de las partículas y un mayor acercamiento entre éstas no influye en la conducción (Acuña, Iglesias, & Jara, 2011, pág. 8).

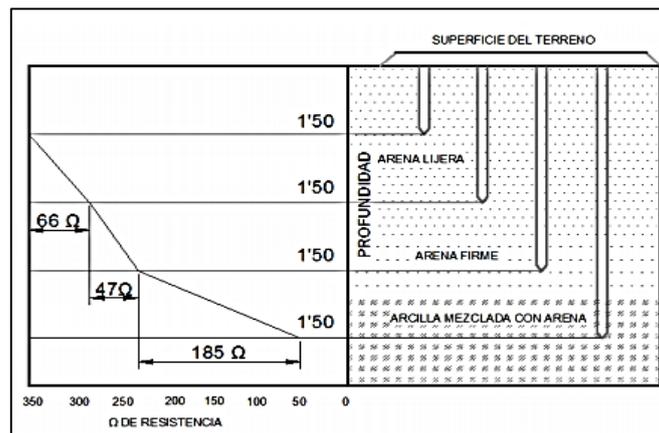


Fig. 5: Variación de la resistividad en función de la Estratigrafía del terreno
Fuente: (Acuña, Iglesias, & Jara, 2011)

1.2.7 Las variaciones estacionales.

El contenido de agua o grado de humedad del terreno influye, de forma apreciable sobre su resistividad. Su valor no es constante, ya que varía con el clima, época del año, naturaleza del subsuelo, la profundidad considerada y la situación del nivel freático pero rara vez es nulo, incluso al referirse a zonas desérticas (Miño & Freire, 2011, pág. 11).

1.2.8 Los factores de la naturaleza eléctrica.

La magnitud de la corriente de puesta a tierra puede modificar el comportamiento del electrodo de tierra si su valor es muy elevado, provocando calentamientos en los conductores enterrados, motivando la evaporación del agua y, por tanto, la sequedad del terreno (Moreno, Fernandez, & Lasso, 2010, pág. 420).

1.3 Medidas de la resistividad del terreno y sistemas de puestas a tierra.

Para Chauvin Arnoux Group (2015), es importante tomar en cuenta las siguientes medidas de resistividad del terreno, descritas a continuación:

1.3.1 La medición de tierra.

En cualquier instalación doméstica e industrial, la conexión de una toma de tierra es una de las reglas básicas a respetar para garantizar la seguridad de la red eléctrica. La ausencia de una toma de tierra podría suponer serios riesgos para la vida de las personas y poner en peligro las instalaciones eléctricas y los bienes. Sin embargo, la presencia de una toma de tierra no es suficiente para garantizar una seguridad total. Sólo controles realizados con regularidad pueden probar el correcto funcionamiento de la instalación eléctrica. Existen numerosos métodos de medición de tierra dependiendo del tipo de regímenes de neutro, del tipo de instalación (doméstico, industrial, medio urbano, rural, etc.) y de la posibilidad de dejar sin tensión la instalación (Chauvin Arnoux Group, 2015, pág. 2).

1.3.2 Valor de resistencia de tierra.

Antes de efectuar una medida de tierra, la primera cuestión fundamental que uno debe plantearse es saber cuál es el valor máximo admisible para asegurarse de que la toma de tierra sea correcta. Las exigencias en materia de valor de resistencia de tierra son distintas según los países, los regímenes de neutro utilizados o el tipo de instalación. Es importante informarse previamente sobre la norma vigente para la instalación a probar (Macchia & José, 2007, pág. 178).

TABLA 1. 2

Valor máximo de la toma de tierra en función de la corriente asignada del DDR (Esquema TT)

Corriente diferencial residual máxima asignada del DDR(Δn)		Valor máximo de la resistencia de la toma de tierra de las masas (ohmios)
Baja densidad	20 ^a	2,5
	10 ^a	5
	5 ^a	10
	3A	17
Media sensibilidad	1A	50
	500 mA	100
	300 mA	167
	100 mA	500
Alta sensibilidad	≤ 30 Ma	➤ 500

Fuente: (Macchia & José, 2007)

1.3.3 Métodos de medida de resistividad.

En la actualidad se utilizan varios procedimientos para determinar la resistividad de los terrenos. Según (Pulido, 2014, pág. 308) el método más utilizado es el de los “cuatro electrodos” que presenta dos métodos:

- Método de WENNER.
- Método de SCHLUMBERGER.

1.3.4 Método de Wenner.

Es un caso particular del método de los 4 electrodos, que se disponen en línea recta y equidistantes, simétricamente respecto al punto en el que se desea medir la resistividad del suelo, no siendo necesario que la profundidad de las piquetas, que para ello se utilizan, sobrepase los 30 cm.

El aparato de medida es un telurómetro clásico, siendo los dos electrodos extremos los de inyección de la corriente de medida, I, y los dos centrales, los electrodos de medida del potencial.

En el método de Wenner, se sitúan 4 electrodos de pequeñas dimensiones alineados en línea recta y equidistantes entre sí "a" metros. Los terminales extremos constituyen la inyección de corriente y los dos centrales, efectúan la medida de la diferencia de potencial: UC-UD.

En el equilibrio, el aparato facilita directamente el cociente entre: UC-UD/I. Sea la R y la resistividad, a una profundidad: $h = 3a/4$, se calcula por la expresión: $\rho = 2\pi aR$.

El punto, O, de medida de la resistividad se encuentra en el medio de un sistema simétrico, entre los electrodos de potencial, llamándose base de medida a la distancia "a" entre dos electrodos adyacentes y línea de emisión a la distancia entre los electrodos extremos (igual a "3a" en este método).

$$\frac{2\pi}{\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a}} R = 2\pi aR.$$

En estas condiciones queda la fórmula general simplificada (García, 1991, pág. 41).

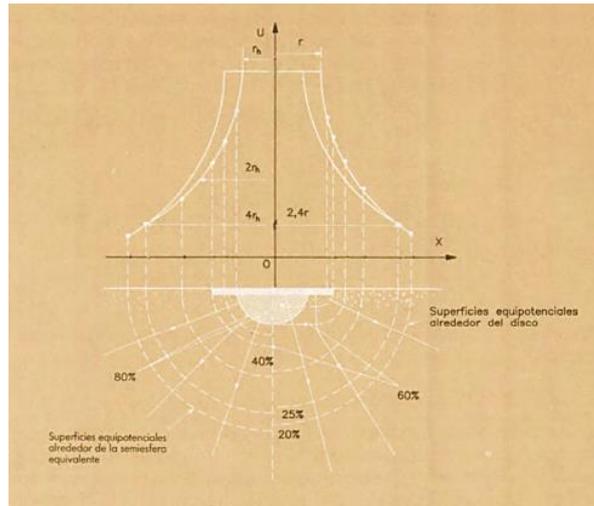


Fig. 6: Comparación del reparto de potencial y de las líneas de corriente alrededor de una placa circular, de radio r , enterrada en la superficie del terreno y las del electrodo semiesférico equivalente.
Fuente: (García, 1991)

1.3.5 Método de Schlumberger.

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

Al igual que en el arreglo de Wenner, y por conveniencia, los electrodos de corriente se denotan como E_2 y HE , y los de potencial como E_2 y S .

El proceso de medición de campo consiste en separar progresivamente los electrodos de corriente dejando fijos los de potencial alrededor del punto fijo del arreglo. La profundidad de estudio de la resistividad aparentes del suelo está determinada por la mitad de la separación entre los electrodos de corriente (Pacheco & Jimenez, 2013, pág. 12).

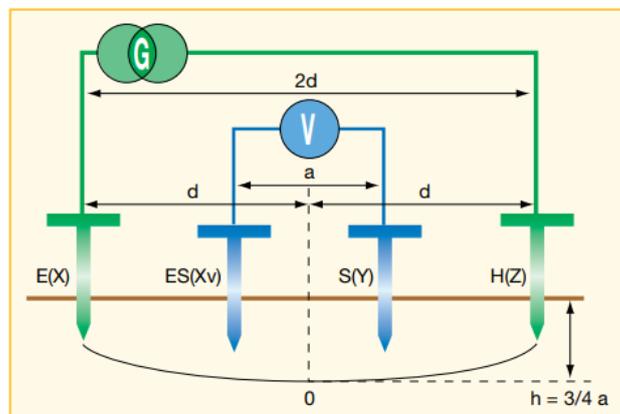


Fig. 7: Método Schlumberger.
Fuente: (Chauvin Arnoux Group, 2015)

Entonces se puede mencionar que el método de Schlumberger permite ahorrar tiempo, mientras que el método de Wenner es el más conocido y utilizado. La fórmula matemática es más sencilla. Sin embargo, numerosos instrumentos de medida permiten obtener instantáneamente valores de resistividad con uno de los dos métodos.

1.3.6 Interpretación de valores.

El objetivo fundamental de las mediciones es encontrar un modelo de suelo que ofrezca una buena aproximación del suelo real. La resistividad varía lateralmente y con respecto a la profundidad, dependiendo de la estratificación del terreno. Las condiciones climáticas influyen en la resistividad medida, razón por la cual, dichas mediciones deben realizarse, en lo posible, en época de verano prolongado para obtener la resistividad más alta y desfavorable.

Los modelos más comúnmente usados para la resistividad del suelo son:

- a) **Modelo de suelo uniforme.** - Usado solo cuando existe una variación moderada de la resistividad aparente. En condiciones de suelo homogéneo, que raramente ocurren en la práctica, el modelo de suelo uniforme puede ser razonablemente exacto.
- b) **Modelo de suelo de dos capas.** - Es una representación muy exacta de las condiciones reales del suelo, y consiste en una capa superior de profundidad finita y con resistividad diferente a la de la capa más baja de espesor infinito.
- c) **Modelo de suelo multicapa.** - Usado cuando las condiciones del suelo son más complejas (Ramirez & Cano, 2010, pág. 30).

1.3.7 Medición de la resistencia de una toma de tierra existente.

Este proceso es utilizado con el fin de verificar el estado funcional de las picas o barrila de puesta a tierra para posteriormente realizar un mantenimiento en caso que se requiera, para este caso se verificará el valor del electrodo de puesta a tierra y el valor del terreno. El resultado oficial a comparar será la suma de estos dos valores obtenidos para luego comparar con los valores establecidos en las tablas normadas de cada país o región.

La medida que debe efectuarse es la resistencia eléctrica entre los electrodos de toma de tierra y el terreno propiamente dicho. Esta medida se efectúa con unos aparatos especiales denominados telurómetros o medidores de toma de tierra.

Estos aparatos constan de un ohmímetro, preparado para medir bajas resistencias, así como unos circuitos de tensión e intensidad que se conectan por separado en el circuito a medir por medio de tres conexiones (la toma de tierra a medir y dos electrodos auxiliares). Las picas o electrodos auxiliares se conectan a una distancia determinada, según el tipo de aparato empleado, para evitar errores que puedan producir las corrientes erráticas; el indicador nos

dará la medida directa, o bien deberemos de ajustarla con un potenciómetro graduado (Martínez, 2003, págs. 71-72).

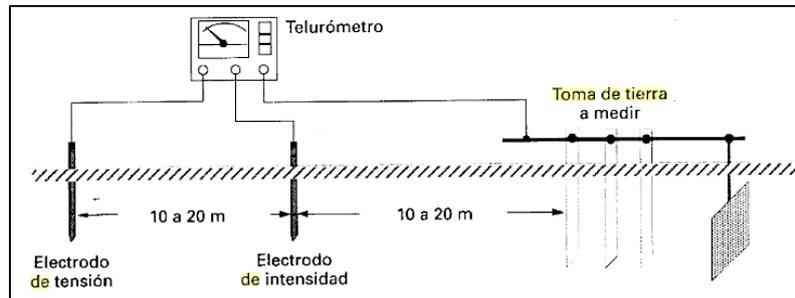


Fig. 8: Medición de las tomas de tierra.
Fuente: (Martínez, 2003)

Para realizar la medida debe efectuarse después de desconectar las líneas de tierra, de los electrodos o toma de tierra propiamente dicha, ya que se trata de medir solamente la resistencia que estos hacen con respecto a tierra, y el valor máximo de la resistencia de la toma de tierra ha de estar en constancia con la sensibilidad del interruptor diferencial empleado.

1.3.8 Los distintos métodos para realizar la medición de la resistencia de puesta a tierra:

Existen distintos métodos a utilizar que se pueden utilizar para medir una toma de tierra existente, a continuación, se enumera los más conocidos, pero sin embargo solo se habla de los más utilizados esto debido a las dificultades y factores que se aparecen o existen al momento de realizar una medida.

No obstante, numerosas medidas pueden aplicarse según las características de la instalación tales como la posibilidad de dejar sin tensión la instalación, desconectar la toma de tierra, tener una única toma de tierra a medir o conectada a otras, la precisión de la medida deseada, el lugar de la instalación (medio urbano o no), etc (Chauvin Arnoux Group, 2015).

A continuación, se muestra una figura resumen de los distintos métodos y posteriormente se habla de cada uno de ellos.

TABLA 1. 3

Resumen de los distintos métodos de medida de tierra.

Métodos para realizar la medición en sistemas de puesta a tierra	Edificio en el campo con posibilidades de clavar picas	Edificio en medio urbano sin posibilidades de clavar picas
Toma de tierra simple		
Método de 3 polos llamado del 62%	x	
Método en triangulo (dos picas)	x	
Métodos de 4 polos	x	
Método variante del 62% (una pica)	x	
Medida de bucle fase-PE	x	X Únicamente en escala TT
Red de tierras múltiples en paralelo		
Método 4 polos selectivo	x	
Pinza de tierra	x	x
Medida de bucle de tierra con 2 pinzas	x	x

Fuente: (Chauvin Arnoux Group, 2015)

Medida de tierra de 3 polos llamada método del 62 % (caída potencial).

El método que a continuación se describe es el más utilizado debido a la efectividad y veracidad al momento de realizar las lecturas en los sistemas de puesta a tierra, la configuración muy simple de conexión facilita la actividad de realizar las mediciones.

Este método requiere el uso de dos electrodos (o "picas") auxiliares para permitir la inyección de corriente y la referencia de potencial 0 V. La posición de dos electrodos auxiliares, con respecto a la toma de tierra a medir E(X), es determinante. Para realizar una medida correcta, la "toma auxiliar" de referencia de potencial (S) no tiene que estar clavada en las zonas de influencia de las tierras E y H, creadas por la circulación de la corriente (i).

Estadísticas de campo han demostrado que el método ideal para garantizar la mayor precisión de medida consiste en colocar la pica S a 62 % de E en la recta EH. Conviene luego asegurarse de que la medida no varía o poco moviendo la pica S a $\pm 10\%$ (S' y S") a cada lado de su posición inicial en la recta EH. Si la medida varía, significa que (S) se encuentra en la zona de influencia. Se debe por lo tanto aumentar las distancias y volver a realizar las medidas (Querales, 2015, pág. 6).

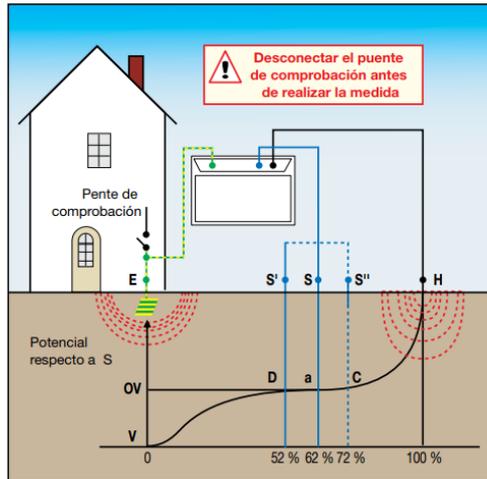


Fig. 9: Medida de tierra de tres polos.
Fuente: (Querales, 2015)

Este método consiste en inyectar corriente a través de un electrodo de prueba llamado “de corriente” y medir el alza de potencial con otro electrodo auxiliar llamado “de potencial”. Una vez conociendo el valor de tensión y el valor de corriente se puede determinar la resistencia mediante la ley de Ohm. Los tres electrodos se deben mantener en una línea recta y se va corriendo el electrodo de potencial hacia el electrodo de corriente para realizar mediciones sucesivas de resistencia. De acuerdo a los valores obtenidos, se realiza un tabla con las distancias y la resistencia óhmica obtenida, para después graficarse y obtener una resistencia característica, trazando una línea paralela al eje X (Hérmendez, Rodruíguez, & Zamudio, 2009, págs. 33 -34).

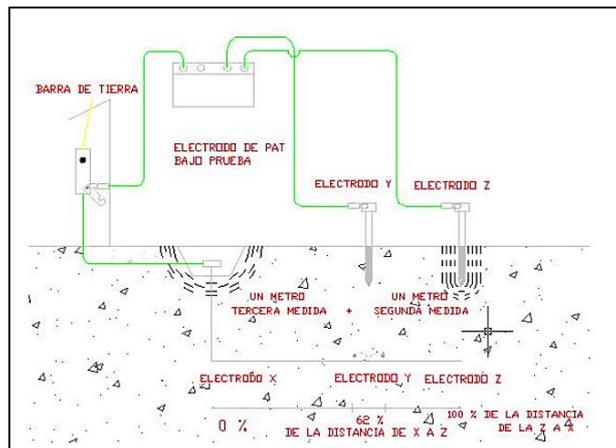


Fig. 10: Método de caída de potencial.
Fuente: (Hérmendez, Rodruíguez, & Zamudio, 2009)

1.3.9 Cálculo de la resistencia de un electrodo.

Debido a que el suelo presenta cierta resistencia al paso de la corriente eléctrica y no es un conductor ideal, siempre existirá una resistencia entre el electrodo de tierra y la “tierra verdadera” esta tierra es conocida como resistencia del electrodo de tierra y depende de la

resistividad del suelo, del tipo y dimensiones del electrodo y de su profundidad de enterramiento.

Una vez conocida la resistividad del suelo, puede calcularse la resistencia de las diferentes configuraciones de electrodos de tierra de acuerdo a los tipos y dimensiones de estos (Dehn & Söhne, 2007, pág. 109).

TABLA 1. 4
Expresiones de cálculo de resistencia del electrodo de tierra.

Electrodo de tierra	Expresión aproximada	Auxiliar
Horizontal (superficial)	$R_A = \frac{2 \cdot P_E}{l}$	-
Vertical (varilla)	$R_A = \frac{P_E}{l}$	-
Anillo	$R_A = \frac{2 \cdot P_E}{3d}$	$d = 1,13 \cdot \sqrt[2]{A}$
Malla	$R_A = \frac{P_E}{2d}$	$d = 1,13 \cdot \sqrt[2]{A}$
Placa	$R_A = \frac{P_E}{4.5 \cdot a} = 0.8 \cdot \frac{P_E}{P}$	-
Semiesférico	$R_A = \frac{P_E}{\pi d}$	$d = 1,57 \sqrt[3]{V}$
R_A	Resistencia del electrodo de tierra(Ω).	
P_E	Resistividad del suelo (Ω).	
l	Longitud del electrodo de tierra(m).	
d	Diámetro del anillo, del área equivalente o del electrodo semiesférico (m).	
A	Área de la superficie encerrada por el anillo o de la malla (m^2).	
a	Longitud del lado de la placa cuadrada. Para la placa rectangular $a = \sqrt{bc}$, donde b y c son los lados del rectángulo (m).	
P	Perímetro de la placa.	
V	Volumen de un elemento de cimentación(m^3)	

Fuente: (Dehn & Söhne, 2007).

1.4 Los sistemas de puesta a tierra en centrales de generación, hidroeléctricas y redes eléctricas áreas.

Generalmente todos los sistemas eléctricos deben tener una protección de puesta a tierra, de acuerdo a la cantidad de elementos a proteger, es por razón que existe normas que regulan y especifican la construcción para cada sistema eléctrico, la distribución de los mismos y los elementos a aterrarse.

1.4.1 Ubicación de los sistemas de puesta a tierra en las líneas eléctricas aéreas de media y baja tensión.

Las instalaciones del sistema de puesta a tierra se realizan para proteger de corrientes de falla a los transformadores instalados en la red aérea, también para regular el voltaje de las líneas eléctricas en caso de descarga atmosféricas mediante la ubicación de las puestas

a tierra en los circuitos terminales de la red eléctrica. Las normas exigen que el valor del sistema de puesta a tierra para este tipo de instalación debe de ser de 20 a 25 ohmios

Las conexiones a tierra del neutro se efectuarán, por lo menos, en los siguientes puntos del sistema:

- a) Para redes de distribución en área urbanas: En centros de transformación y en los dos terminales del circuito secundario más alejados del transformador.
- b) Para redes de distribución en áreas rurales: similar al literal “a” y además para circuitos secundarios prolongados en puntos intermedios a intervalos de 200m.
- c) Para circuitos primarios y líneas de distribución a 22,8KV, con neutro continuo: a intervalos aproximados de 300m en toda su longitud además en los puntos terminales.

(Sosa, Maldonado, & Otorongo, 2014, pág. 13)

En la figura N°11 se muestra la ubicación y partes de un sistema de puesta a tierra ubicado en un poste.

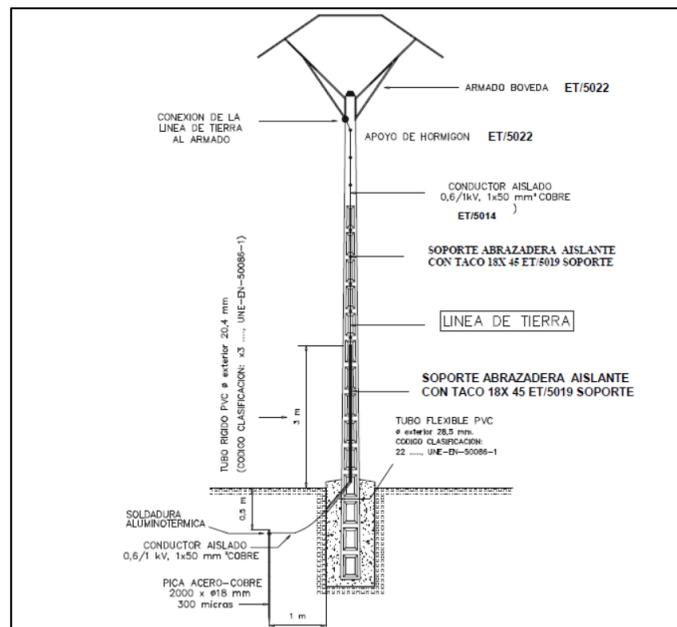


Fig. 11: Sistemas de puesta a tierra en neutro de una línea eléctrica aérea.
Fuente: Hidro-Cantabrica Distribución Eléctrica, S.A.U.

1.4.2 Ubicación de los sistemas de puesta a tierra en subestaciones eléctricas.

En una subestación eléctrica el sistema de malla de puesta a tierra debe cubrir toda el área posible del terreno en donde se ubica el sistema eléctrico, debido a que existe riesgo

de diferencia de potencial en el piso provocando descargas eléctricas a las personas que caminen dentro y por los alrededores de la subestación.

Otra razón para que el sistema de mallas de puesta a tierra se extienda por toda zona de la subestación es porque se conectan al sistema de puesta a tierra todos los elementos metálicos existen en las instalaciones para evitar el efecto de voltaje de contacto.

Existen dos categorías de circuitos de tierra en las estaciones, cada uno de los cuales, engloba una serie de dispositivos que a continuación se enumera.

Equipos energizados que se conectan a la malla de puesta a tierra:

- Transformadores y convertidores.
- Disyuntores.
- Equipos de medición (CT y PT).
- Pararrayos de líneas.
- Disyuntores de aire.
- Estructuras.
- Seccionadoras aisladas.
- Casetas de control.
- Sistemas de control, protección y comunicación.
- Estructura de banco de baterías.
- Cargador de baterías.
- Panel de distribuidor.
- Generadores de energía.

Equipos no energizados que se conectan a la malla de puesta a tierra:

- Verjas y portones.

1.4.3 Ubicación de los sistemas de puesta a tierra en centrales de generación eléctrica.

En un centro de generación hidroeléctrica al igual que todos los sistemas eléctricos deben tener un sistema de puesta a tierra para proteger a los equipos y operarios de la central eléctrica a continuación, se enumera los elementos más importantes que deben estar conectados al sistema de malla de puesta a tierra.

➤ Generadores.

Prácticamente todos los generadores de centrales eléctricas son conectados en estrella con el neutro aterrizado.

➤ Transformadores.

Al igual que existen transformadores en una subestación, los transformadores primarios y auxiliares de la central eléctrica deben ser conectados al sistema de puesta a tierra.

Existen dos tipos de puesta a tierra del transformador principal. La puesta a tierra de protección y la de servicio. La puesta a tierra de protección tiene por finalidad proteger contra descargas eléctricas al personal de operación y mantenimiento. Esta se logra mediante la conexión de las partes metálicas del transformador a la malla de la tierra de la central y de la subestación eléctrica. La puesta a tierra de servicio se realiza mediante la conexión a tierra del neutro de la configuración estrella del Transformador Principal. Esta se efectúa a través de un seccionador eléctrico intercalado entre el neutro del transformador y la malla de puesta a tierra. (Núñez Ramírez , 2015, pág. 53)

Una vez enumerado los elementos más importantes de aterrizar en un centro de generación, se enumera de forma general los demás elementos que deben estar conectados al sistema de puesta a tierra ya que estos pueden estar en contacto con el personal que opera la central.

- El cuarto de máquinas o casa de fuerza.
- El cuarto de control de máquinas.
- Patio de llaves de llaves.
- Estructura de entrada (captación).
- Estructura (cámara) de salida de agua.

Todos estos cuartos y sus componentes eléctricos y metálicos deben estar conectados al sistema de puesta a tierra.

1.5 Mantenimiento de Sistema de Puesta a Tierra.

Para realizar el estudio del estado funcional de los sistemas de puesta a tierra y posteriormente un correcto mantenimiento se puede considerar el siguiente listado:

- Tener la tabla de valores regularizados o normados de la resistencia de los sistemas de puesta a tierra para los diferentes sistemas eléctricos.

- Método de análisis y modelamiento matemático para dimensionar un sistema de puesta a tierra para contrastar y fiscalizar en caso de construcciones finalizadas e instaladas.
- Cronograma de periodos de tiempo y tipo de mantenimientos establecidos para realizar inspecciones en los sistemas de puesta a tierra.

1.5.1 Valores recomendados de resistencia de puesta a tierra.

Existen varias normas que regulan estos los valores para la resistencia de los sistemas de puesta a tierra, en Ecuador se adaptó la norma internacional IEEE Std 80-2000 y la norma IEEE Std 142-1991 entre otras como la norma NEC; de estas normas se extrajo los valores indicados en la tabla 133, con la que actualmente se construye y fiscaliza los valores de resistencia de los S.P.T.

TABLA 1. 5

Valores recomendados de resistencia de puesta a tierra.

APLICACIÓN	VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
Estructuras de líneas de transmisión	20Ω
Subestaciones de alta y extra alta tensión	1Ω
Subestaciones de media tensión	10Ω
Protección contra rayos	10Ω
Neutro de acometida en baja tensión	25Ω
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 practico 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 trasferidas en caso de una falla a tierra no superen las máximas permitidas, incluso cuando se alcancen los valores señalados en la tabla.	

Fuente: (Chauvin Arnoux Group, 2015)

1.5.2 Cronograma para los periodos de tiempo en la realización las diferentes actividades de inspección y mantenimientos a los sistemas de puesta a tierra.

Para la realización de inspecciones y mantenimiento de los sistemas de puesta a tierra existen diversas actividades que se ejecutan de acuerdo al tiempo de funcionamiento del sistema depuesta a tierra, esto debido a que todo elemento tiende a degradarse al pasar de los años es por esta razón que las inspecciones inician desde visuales y estas se incrementan hasta inspecciones minuciosas con tomas de muestras físicas y mediciones estas actividades

se llevan a cabo mientras su funcionamiento sea normal y no ocurran daños o desperfectos en el sistema que requieran de correcciones inmediatas, para realizar estas actividades se existen cronogramas como se describe en la tabla N°1.5

TABLA 1. 6

Cronograma de actividades para el mantenimiento de los sistemas de puesta a tierra.

Número de Actividad	Periodo de Realización	Actividades a Ejecutarse
1	1 año	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de resistencia de puesta a tierra. • Medición de equipotencialidad. • Revisión de ajustes necesarios del sistema. • Revisión de estructuras de anclaje: aisladores y tensores.
2	5 años	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de resistencia de la puesta a tierra de cada subsistema de puesta a tierra. • Medición de equipotencialidad de cada subsistema. • Medición de resistencia de puesta a tierra de todo el S.P.T. interconectado.
3	10 años	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de conexiones al electrodo (una muestra). • Realizar las actividades propias de cada año.
4	20 años	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnosticar. • Evaluar. • Rediseñar. • Numero

Fuente: Internet (<https://es.scribd.com/doc/54466309/Plan-de-Mantenimiento-de-Sistemas-de-Puesta-a-Tierra>)

1.5.3 Análisis y contrastación mediante la modelación matemática de un sistema de puesta a tierra.

Para el caso de sistemas de puesta a tierra en subestaciones o centros de generación presente un desperfecto o fallas en su funcionamiento normal es necesario realizar un análisis completo a todo el sistema de puesta a tierra. Esta actividad de análisis se puede realizar mediante la modelación matemática del S.P.T. para compararla con el sistema de puesta a tierra instalado, esto permitirá verificar cada aspecto que debe cumplir la malla de tierra y así poder detectar el error en el diseño.

Este análisis se realiza con las fórmulas para diseñar nuevos sistemas de puesta a tierra que indica la norma IEEE Std 80-2000 que a continuación se describe paso a paso el desarrollo de este procedimiento matemático para el cálculo y diseño una malla de puesta a tierra basado en los voltajes y corrientes que operara el sistema eléctrico.

1. Ingreso de los datos y valores que integran la malla y el sistema eléctrico.

Para realizar el análisis ingresaremos los valores actuales con los que opera el sistema eléctrico a examinar, en el siguiente listado se enumera los valores necesarios y nomenclatura que se utiliza en todo el procedimiento de análisis de la malla de puesta a tierra.

- Corriente de falla (I_f).
- Dimensión de la nueva malla largo (L1) x ancho (L2).
- Área de la malla (A)
- Profundidad de enterramiento de la malla (h).
- Temperatura ambiente (T_a).
- Tiempo de despeje de la falla (t_f).
- Temperatura fundición del material de conductor malla cobre 450°C. (T_m).
- Espaciamiento de uniones de la malla varía entre 1 a 7 metros (D).
- L_c = Longitud de los conductores enterrados (m).
- N= Número de varillas.

$I_f(A)$	$\rho (\Omega\cdot m)$.	$t_f (s)$	N	$D(m)$	$A \text{ malla } (m^2)$
900	200	1	6	2	560
$h (m)$	$L1(m)$	$L2(m)$	T_m	T_a	$L_v(m)$
0,5	20	28	450 °	25°	1,8

2. Cálculo del voltaje de contacto y de paso tolerables para el sistema eléctrico.

Estos valores son muy importantes, se utilizan al final para comparar con los valores de paso y contacto de la malla y dependiendo el resultado el dimensionamiento de la malla será el adecuado.

$$V_p = \frac{(1000+6 \times C_s \times \rho_s) \times 0.157}{\sqrt{t_f}} [V] \quad (1)$$

$$V_c = \frac{(1000+1.5 \times C_s \times \rho_s) \times 0.157}{\sqrt{t_f}} [V] \quad (2)$$

Donde:

C_s = Coeficiente en función del terreno y la capa superficial.

ρ_s = Resistencia aparente de la capa superficial ($\Omega\cdot m$).

t_f = Tiempo de despeje de la falla (s).

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \times (1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2 \times h_s + 0.09} \quad (3)$$

Donde:

ρ = Resistividad aparente del terreno tomando como un suelo uniforme (Ω -m).

ρ_s = Resistividad aparente de la capa superficial (Ω -m).

h_s = Espesor de la capa superficial entre 0.1 y 0.5 (m).

Ejemplo:

ρ (Ω -m).	ρ_s (Ω -m).	h_s (m)	t_f (s)
200	600	0,3	1

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \times (1 - \frac{200\Omega m}{600\Omega m})}{2 \times 0.3m + 0.09} \quad C_s = 0.91$$

$$V_p = \frac{(1000 + 6 \times 0.91 \times 600\Omega m) \times 0.157}{\sqrt{1s}} [V] \quad V_p = 671.33V$$

$$V_c = \frac{(1000 + 1.5 \times 0.91 \times 600\Omega m) \times 0.157}{\sqrt{1s}} [V] \quad V_c = 285.5V$$

3. Cálculo del calibre del conductor para la malla de puesta a tierra.

En esta parte del procedimiento se verifica si el calibre con el que está diseñado la malla es el mismo que sugiere o indica los valores obtenidos mediante la siguiente fórmula.

$$A = \frac{I_f \times K_f \times \sqrt{t_f}}{1.9740} [mm^2] \quad (4)$$

Donde:

I_f = Corriente de falla.

K_f = Valor de conductividad del cobre.

t_f = Tiempo de despeje de la falla.

Ejemplo:

$I_f(A)$	k_f	$t_f(s)$
900	7,06	1

$$A = \frac{900 \times 7.06 \times \sqrt{1}}{1.9740} [mm^2] \quad A = 32.18 mm^2.$$

Nota: Con este valor se busca en la tabla el calibre que corresponda o se aproxime, para este caso es el calibre 2 AWG que corresponde a $33.62 mm^2$.

Las normas nacionales (NEC 250-81 Y EQQ) y la norma internacional IEE Std 80-2000 indican que el mínimo calibre de conductor a utilizarse es el #2AWG(mm^2) de siete hilos.

Con este dato ya se puede realizar una primera comparación al verificar si la malla está construida con el calibre indicado en los cálculos, encontrando o descartando el primer error o falla en la malla.

4. Cálculo de los coeficientes de irregularidad km, ks, ki.

Estos son valores que se utilizan por la irregularidad de la resistividad del suelo ya que este no es uniforme en su textura y contenido de materiales, en este cálculo intervienen las dimensiones de la malla y el espaciamiento de la misma.

Coeficiente km.

$$k_m = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{D^2}{16hd}\right) + \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \times \dots \times \frac{2n-3}{2n-2}\right). \quad (5)$$

Donde:

d = Diámetro del conductor seleccionado (m).

D = Espaciamiento entre conductores (m).

h = Profundidad de enterramiento de la malla (m).

n = $n_a + n_b + n_c$.

n = factor de geometría.

$$na = \frac{2Lc}{Lp} \quad (6)$$

$$nb = \sqrt{\frac{Lp}{4x\sqrt{A}}} \quad (7)$$

$$nc = \left(\frac{L1 \times L2}{A}\right)^{\frac{0.7 \times A}{L1 \times L2}} \quad (8)$$

$$Lp = (L1+L2)^2[m] \quad (9)$$

$$Lc = \left(\frac{L1}{D} + 1\right)L2 + \left(\frac{L2}{D} + 1\right)L1[m] \quad (10)$$

Ejemplo:

<i>D(m)</i>	<i>h(m)</i>	<i>d(m)</i>	<i>L1(m)</i>	<i>L2(m)</i>
2	0,5	0,00654	20	28

$$Lp = (20m.+28m.)^2 \quad Lp = 2304m.$$

$$Lc = \left(\frac{20m.}{2m.} + 1\right) 28 + \left(\frac{28m.}{2m.} + 1\right) 20m. \quad Lc = 608m.$$

$$na = \frac{2 \times 608m.}{2304m.} \quad nb = \sqrt{\frac{2304m.}{4 \times \sqrt{560}}} \quad nc = \left(\frac{20m. \times 28m.}{560m.^2}\right)^{\frac{0.7 \times 560m.^2}{20m. \times 28m.}}$$

$$na = 0.52 \quad nb = 4.93 \quad nc = 1.$$

$$n = 0.52+4.93+1 \quad n = 6.$$

$$km = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{2^2m.}{16 \times 0.5m. \times 0.00654m.}\right) + \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \times \frac{9}{10}\right). \quad km = 0.464$$

Coficiente ks.

$$ks = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \dots + \frac{1}{(n-1)D}\right). \quad (11)$$

Donde:

D = Espaciamiento entre conductores (m).

h = Profundidad de enterramiento de la malla (m).

Ejemplo:

$$k_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2 \times 0.5m.} + \frac{1}{2m.+0.5m.} + \frac{1}{2 \times 2m.} + \frac{1}{3 \times 2m.} + \frac{1}{4 \times 2m.} + \frac{1}{5 \times 2m.} \right). \quad k_s = 0.64988$$

Coeficiente k_i .

El valor de k_i depende de N de la siguiente regla.

$$k_i = 0.64 + 0.148n \quad \text{cuando } n \leq 7 \quad (12)$$

$$k_i = 2 \quad \text{cuando el valor de } n > 8$$

Ejemplo:

n
6

$$k_i = 0.64 + 0.148 \times 6 \quad k_i = 1.52$$

5. Cálculo de la resistencia de la malla.

Es la resistencia que nos ofrece el terreno hacia la corriente en un sistema de puesta a tierra, esta resistencia depende de la resistividad del terreno y área de los conductores.

$$R_m = \frac{0.318 \times \rho \times (2.303 \times \log 2 \times Lt + k_1 \times Lt - k_2)}{Lt \times \sqrt{d} \times 0.5 \times \sqrt{A}} [\Omega] \quad (13)$$

En donde:

R_m = Resistividad de la malla (ohm).

ρ = Resistividad medida del terreno ($\Omega \times m$).

L_t = Longitud total del conductor con las varillas. (m)

d = Diámetro del conductor de la malla (m).

A = Área de la malla (m^2).

k_1 y k_2 = Coeficiente obtenido por formula de Schwartz.

Para la obtención de k_1 y k_2 se emplean las formulas descritas en la siguiente tabla.

Tabla 1.7
Ecuaciones Para La Curva De Schwartz.

	Curva A	Curva B	Curva C
k1	$k1 = -\frac{-0,04Lx}{Ly} + 1,41$	$k1 = -\frac{-0,05Lx}{Ly} + 1,2$	$k1 = -\frac{-0,05Lx}{Ly} + 1,13$
k2	$k2 = -\frac{0,15Lx}{Ly} + 5,5$	$k2 = -\frac{0,1Lx}{Ly} + 4,68$	$k2 = -\frac{0,05Lx}{Ly} + 4,4$

Fuente: Autor.

En donde se utilizan las ecuaciones de la curva de B basado en la siguiente regla.

La curva B se aplica para profundidades que se aproximen a un valor de profundidad h igual a la décima parte de la raíz de del área que ocupa la malla.

$$h = \frac{1}{10\sqrt{area}} [m.] \quad (14)$$

$$k1 = -\frac{-0,05Lx}{Ly} + 1.2 \quad k1 = 1.23 \quad (15)$$

$$k2 = -\frac{-0,1Lx}{Ly} + 14.68 \quad k2 = 4.75 \quad (16)$$

Ejemplo:

ρ (Ω -m).	Lt(m)	Lc (m)	k1	k2	d(m)	A. malla (m ²)
200	618,8	608	1,23	4,75	0,00654	560

$$Rm = \frac{0.318 \times 200 \Omega \cdot m \cdot (2.303 \times \log_2 618.8m + 1.23 \times 618.8m - 4.75)}{618.8m \cdot \sqrt{0.00654m} \cdot 0.5 \times \sqrt{560m}} [\Omega] \quad Rm = 0.577 \Omega.$$

Nota. El valor obtenido en Rm debe ser menor a 5 Ω para cumplir con las normas de construcción IEE Stda 80-2000.

6. Cálculo de la resistencia de la Red.

Calculamos la resistencia de puesta a tierra Rg en Ω

$$Rg = \rho \times \left[\frac{1}{Lt} + \frac{1}{\sqrt{20 \times A}} \left(1 + \frac{1}{1+h \times \sqrt{20/A}} \right) \right]. \quad (17)$$

Donde:

A = Área de la malla en (m^2).

h = Profundidad de enterramiento de los conductores.

ρ = Resistividad del suelo ($\Omega \times m$).

Lt = Longitud total del conductor con las varillas (m).

Ejemplo:

<i>h (m)</i>	<i>ρ ($\Omega\text{-m}$).</i>	<i>Lt(m)</i>	<i>A. malla (m^2)</i>
0,5	200	618,8	560

$$R_g = 200\Omega \cdot m \cdot x \left[\frac{1}{618.8m} + \frac{1}{\sqrt{20 \times 560m}} \left(1 + \frac{1}{1+0.5m \cdot x \sqrt{20/560m}} \right) \right]. \quad R_g = 3.94 \Omega$$

Nota: El valor obtenido en Rg debe ser entre 1 a 5 Ω para cumplir con las normas de construcción IEE Stda 80-2000.

7. Cálculo del máximo potencial de tierra y la corriente de falla a tierra.

$$I_g = 0.95 \times I \text{ [A]} \quad (18)$$

$$GPR = I_g \times R_g \text{ [V]} \quad (19)$$

Donde:

Rg = Resistencia de puesta a tierra calculada.

Ig = corriente de falla a tierra (A)

Ejemplo:

<i>I(A)</i>	<i>Rg</i>
900	3,94

$$I_g = 0.95 \times 900 \quad I_g = 855A$$

$$GPR = 855 A \times 3.93\Omega \quad GPR = 3368.7V$$

8. Cálculo de las tensiones de paso y contacto de malla en caso de falla.

Tensión de contacto de la malla en caso de falla.

$$V_c = \frac{\rho \times I_g \times K_m \times K_i}{L_c + \left[1.55 + 1.22 \times \left(\frac{L_v}{\sqrt{L_1^2 + L_2^2}} \right) \right] \times N \times L_v} \quad (20)$$

Donde:

ρ = Resistividad del suelo ($\Omega \cdot m$.)

I_g = corriente de falla a tierra (A)

L_c = Longitud de los conductores enterrados (m).

L_v = longitud del electrodo.

N = Número de electros.

Ejemplo:

ρ ($\Omega \cdot m$.)	I_g (A)	L_c (m)	L_v (m)	N
200	855	608	1,8	6

$$V_c = \frac{200 \Omega \cdot m \cdot 855 A \cdot 0.464 \cdot 1.52}{608 + \left[1.55 + 1.22 \times \left(\frac{1.8 m}{\sqrt{20^2 m + 28^2 m}} \right) \right] \cdot 6 \cdot 1.8 m} \quad V_c = 336.20V$$

Tensión de paso de la malla en caso de falla.

$$V_p = \frac{\rho \times I_g \times K_s \times K_i}{0.75 \times L_c + 0.85 \times N \times L_v} [V]. \quad (21)$$

Donde:

ρ = Resistividad del suelo ($\Omega \cdot m$.)

I_g = corriente de falla a tierra (A)

L_c = Longitud de los conductores enterrados (m).

L_v = longitud del electrodo.

N = Número de electros.

Ejemplo:

ρ ($\Omega\cdot m$).	$I_g(A)$	L_c (m)	$L_v(m)$	N
200	885	608	1,8	6

$$V_p = \frac{200 \Omega\cdot m \cdot 885 A \cdot 0.649 \cdot 1.52}{0.75 \cdot 608 m + 0.85 \cdot 6 \cdot 1.8 m} [V], \quad V_p = 375.35V$$

9. Comparación de los valores de voltajes de contacto y paso.

Para que el diseño de la longitud de la malla de puesta a tierra calculada este correcta y cumpla con su función debemos comparar los voltajes calculados de la malla, con valores de voltajes de paso y de contacto permisibles establecidos por la norma IEE Std 80-2000. La norma nos indica que:

Voltaje de paso tolerable debe ser > Voltaje de paso de la malla calculada ($V_{pT} > V_p$).

$$V_{pT} = 671.33V > V_p = 375.35V \text{ (Si cumple la regla)}$$

Voltaje de contacto tolerable debe ser > Voltaje de contacto de la malla calculada ($V_{cT} > V_c$).

$$V_{cT} = 285.5V > V_c = 336.20V \text{ (No cumple con la regla).}$$

Si estos dos factores están en lo correcto se procederá a realizar la construcción de la nueva malla, caso contrario se realiza un nuevo diseño de la malla aumentando la dimensión de la misma.

Este sería el método de análisis que se debe utilizar en un sistema de puesta a malla, existe otro método de modelación de la malla con el programa Aspix aunque ese nos indicaría solo el diseño final de la malla como es la longitud de la misma sin embargo puede servir como apoyo o refuerzo de comprobación para realizarlo de una manera más rápida.

Otra manera de realizar el análisis es mediante el ingreso de datos de operación de la subestación eléctrica o centro de generación y obtener los resultados directos de construcción de la malla, este programa de Excel está diseñado en base a las formulas de la misma norma IEEE Std 80-2000, sin embargo este documento solo muestra resultados y no los formulas y procedimientos matemáticos que es necesario presentar en los informes especificando donde se encuentran los errores o fallas de cálculos al momento que se dimensionó la malla de puesta a tierra.

1.5.4 Adecuación de la resistividad del terreno según las normas IEE Std 80-2000.

En el mejoramiento de un sistema de puesta a tierra para la resistividad del suelo cumple con un rol importante en el valor funcional final de la resistencia del sistema, es por eso que la adecuación o disminución del valor de la resistividad del suelo es el primordial a continuación se estable los métodos que recomienda las normas internacionales para realizar el mejoramiento de la resistividad eléctrica del suelo.

Tratamiento del suelo para reducir la resistividad (norma IEE 80-2000).

A menudo es imposible lograr la deseada reducción de la resistencia de tierra mediante la adición de más conductores a la cuadrícula o más barras de tierra. Una solución alternativa es aumentar la eficacia del diámetro del electrodo mediante la modificación del suelo que rodea el electrodo. La cubierta interna de los suelos más cercanos al electrodo suele estar compuesto por el grueso de la resistencia a tierra del electrodo a la tierra remota. Este fenómeno se utiliza a menudo como una ventaja, de la siguiente manera:

- a) Usando cloruro de sodio, magnesio y sulfatos de cobre, o cloruro de calcio, para incrementar la conductividad del suelo que rodea un electrodo. El estado o las autoridades federales pueden no permitir el uso de este método debido a la lixiviación (lavado o filtrado del suelo) posible a las áreas circundantes. Además, el tratamiento con sal debe ser renovada periódicamente.

- b) Usando bentonita, una arcilla natural que contiene los minerales montmorillonite, que se formó hace unos años por la acción volcánica. No es corrosivo, estable y tiene una resistividad de $2,5 \Omega \cdot m$ y una humedad del 300%. Los resultados de baja resistividad principalmente de un proceso electrolítico entre el agua, Na_2O (óxido de sodio), KO (óxido de potasio), CaO (Óxido de Calcio – Cal Viva), MgO (Óxido de magnesio), y otras sales minerales que se ionizan formando un electrolito fuerte con un pH de 8 a 10. Este electrolito no se filtrará gradualmente, ya que forma parte de la propia arcilla. Siempre con una cantidad suficiente de agua, se hincha hasta 13 veces su volumen en seco y se adherirá a cualquier superficie que toca. Debido a su carácter higroscópico, actúa como agente de secado de sacar la humedad disponible en el medio ambiente circundante. La Bentonita necesita de agua para obtener y mantener sus características beneficiosas. Su contenido de humedad inicial se obtiene en la instalación cuando la mezcla se prepara. Una vez instalada, la bentonita se basa en la presencia de humedad en el suelo para mantener sus características. La mayoría de los suelos tienen suficiente humedad para que el secado sea una preocupación. La naturaleza higroscópica de la bentonita aprovechará el agua disponible para mantener su condición de instalación. Si se expone a la luz solar directa, tiende a aislarse, previniendo el proceso de secado de las partes más profundas. No puede

funcionar bien en un ambiente muy seco, ya que puede retroceder ante el electrodo, aumentando la resistencia del electrodo (Jones [B90]).

- c) Usando electrodos del tipo químico que consiste en un tubo de cobre lleno de una sal. Los agujeros en el tubo permiten que la humedad entre, las sales se disuelvan, y la solución de sales se filtre en el suelo. Estos electrodos se instalan en un agujero predicho y, normalmente, relleno de tierra, con el tratamiento del suelo.
- d) Los materiales de mejora de tierra, algunos con una resistencia de menos de $0,12 \Omega \cdot m$ (alrededor del 5% de la resistividad de la bentonita), normalmente se colocan alrededor de la varilla en un agujero predicho o alrededor de los conductores a tierra en una zanja, ya sea en forma seca o premezclado. Algunos de estos materiales de mejora son permanentes y no se filtrará ningún producto químico en el suelo. Otros materiales disponibles se mezclan con el suelo en cantidades variables y poco a poco se filtrarán en el suelo circundante, disminuyendo la resistividad del terreno (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, Inc., 2000, pág. 68).

1.6 Procedimientos para elaborar un manual técnico.

La implementación de un manual de desarrollo de procedimientos es importante en todo proceso de producción o en los desempeños laborales, es la ayuda y guía técnica para realizar las actividades con las normas y procesos seguros que han desarrollado el personal de administración de acuerdo a la necesidad de las empresas, fabrica o estaciones de trabajo etc.

Los manuales son una de las mejores herramientas administrativas porque le permite a cualquier organización normalizar su operación. La normalización es la plataforma sobre la que se sustenta el crecimiento y el desarrollo de una organización dándole estabilidad y solidez. (Alvarez Torres, 2006, pág. 24).

Para desarrollar un manual se debe cumplir con un proceso de investigación en el área en el que se propone integrarlo, para esto se estudiará y analizará cómo se está ejecutando los procesos de trabajo con la finalidad de mejorar las técnicas de producción. A continuación, se enumera y describe las técnicas a utilizar para desarrollar el análisis en el campo laboral.

1.6.1 Delimitación o alcance del procedimiento.

Para la implementación de manual técnico de procedimientos es fundamental conocer el procedimiento o procedimientos de producción que se desea mejorar, donde empieza la producción o trabajo y donde termina, con la finalidad de optimizar los procesos. Para realizar

esta investigación se propone investigar los procesos o metodologías que desempeñan en la actualidad en base a las siguientes preguntas.

- ¿Cuál es el procedimiento que se va analizar?
- ¿Dónde se inicia?
- ¿Dónde termina?

1.6.2 Recolección de la información.

Esta etapa consiste en realizar la recolección de información acerca de los procesos realizados por el personal en el campo laboral, en documentación y hojas de datos o informes o reportes de trabajos. Toda esta información debe ser recolectada para organizarla y poder proponer los ajustes y modificaciones necesarias. A continuación, se enumeran las técnicas más utilizadas para recabar información:

- Investigación documental
- Entrevista directa.
- Observaciones de campo.

1.6.3 Análisis de la información y diseño del procedimiento.

Es la parte más importante del estudio de los procedimientos y metodologías que se utilizan, consiste en estudiar todos los elementos que se recolecto en los procesos de investigación, con la finalidad de realizar un diagnóstico de la realidad operativa actual.

Para realizar el análisis de la información recaba se recomienda fundamentarla en base a estas preguntas.

- ¿Qué trabajo se realiza o ejecuta?
- ¿Qué personal o áreas lo realiza?
- ¿Qué métodos se utiliza o como se ejecuta?
- ¿Cada que tiempo se realiza estas actividades?
- ¿En qué lugares se realiza estas actividades?
- ¿Cuál es el motivo para realizar estas actividades?

Análisis del procedimiento.

Una vez que todas las actividades se han sometido al análisis correspondiente, y se considera que es necesario mejorar o rediseñar un procedimiento, se deberá utilizar la técnica de los cinco puntos que se presenta a continuación.

a) Eliminar.

La primera parte del proceso para mejorar los procedimientos y métodos empleados en las actividades de producción es eliminar los pasos que estén demás o cualquier actividad que sea indispensable.

b) Combinar.

Si no es posible eliminar algún proceso la mejor opción es unificarla o combinarla a otro procedimiento u operación, normalmente al unificar dos procedimientos se reduce y simplifica el trámite o proceso de producción con la intención de mejorarla.

c) Cambiar.

En este punto es necesario revisar si se puede realizar algún cambio en el orden que se realiza las actividades o cambiar el método que actualmente se realiza, siempre y cuando el cambio simplifique y mejore la actividad desarrollada.

d) Mejorar.

En algunos casos los procedimientos o documentación no puede ser eliminado o combinado, pero si se puede mejorar generalmente va dirigido a documentación como reportes de trabajo, hojas de registro etc.

e) Mantener.

Consiste en conservar las actividades que, como resultado del análisis, no fueron susceptibles de eliminar combinar cambiar o mejorar.

1.6.4 Estructura de los manuales técnicos o de procedimientos.

En la actualidad existe una gran variedad de modos de presentar un manual de procedimientos, y en cuanto a su contenido no existe uniformidad, ya que este varía según los objetivos y propósitos de cada dependencia, así como su ámbito de aplicación. A

continuación, se mencionan los elementos más relevantes que deben integrar un manual de procedimientos.

- Identificación
- Índice
- Introducción.
- Objetivos
- Desarrollo de los procedimientos.

Identificación.

Es la primera página del manual o portada, en ella debe constar los siguientes datos:

- Escudo o logotipo de la empresa institución.
- Nombre de la empresa o institución.
- Nombre o siglas de la unidad administrativa o autor responsable de la elaboración.
- Título del manual.
- Fecha de elaboración o actualización.

Índice.

Esta parte se describe y enumera en una manera ordenada el contenido del manual, los apartados más importantes que constituyen el manual, con la finalidad de ser una guía inicial para el lector.

Introducción.

Se refiere a la explicación que se dirige al lector sobre el panorama general del contenido del manual, de la utilidad y de los fines y propósitos que se pretenden cumplir a través de él.

Objetivos.

Es una descripción clara de lo que pretende cumplir con la elaboración del manual, esta descripción debe ser clara y en párrafos breves, la primera parte del contenido deberá expresar que se hace y la segunda para que se hace.

Desarrollo de procedimientos.

Es el contenido principal y fundamental del manual, en esta parte se desarrolla todos los procedimientos y metodologías que se implementarán a las actividades que se desempeña en las estaciones laborales de las personas o personal de trabajo como son:

- Descripción de actividades.
- Políticas y lineamientos.
- Métodos de trabajo.
- Responsabilidades.
- Diagramas de flujo.
- Anexos.

CAPÍTULO II

2. Cuestionario realizado al personal de Emelnorte.

Para tener información acerca de los procesos de medición, inspección y mantenimiento de los sistemas de puesta a tierra de Emelnorte se realizó un cuestionario al personal de Emelnorte con el que se recaudara información para realizar el manual de procedimientos para el análisis y mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra. En los anexos N°1; N°2; N°3 y N°4 se puede ver los cuestionarios resueltos de donde se realizó el siguiente análisis.

2.1 Tabulación y análisis de los resultados del cuestionario realizado al personal encargado del Departamento de Fiscalización eléctrica.

Pregunta Número 1:



Fig. N° 12 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Generalmente el departamento o área de Fiscalización se encarga de controlar el cumplimiento de las normas y procedimientos aplicables a la Distribución, Generación y Comercialización de Electricidad.

Análisis de resultados.

La administración de Emelnorte es adecuada en tener el departamento de Fiscalización para que lleve a cabo el control y registro del funcionamiento de la empresa, conjuntamente con el departamento de mantenimiento o personal de mantenimiento que está en el departamento de Distribución, Generación y Subestaciones.

Pregunta Número 2:

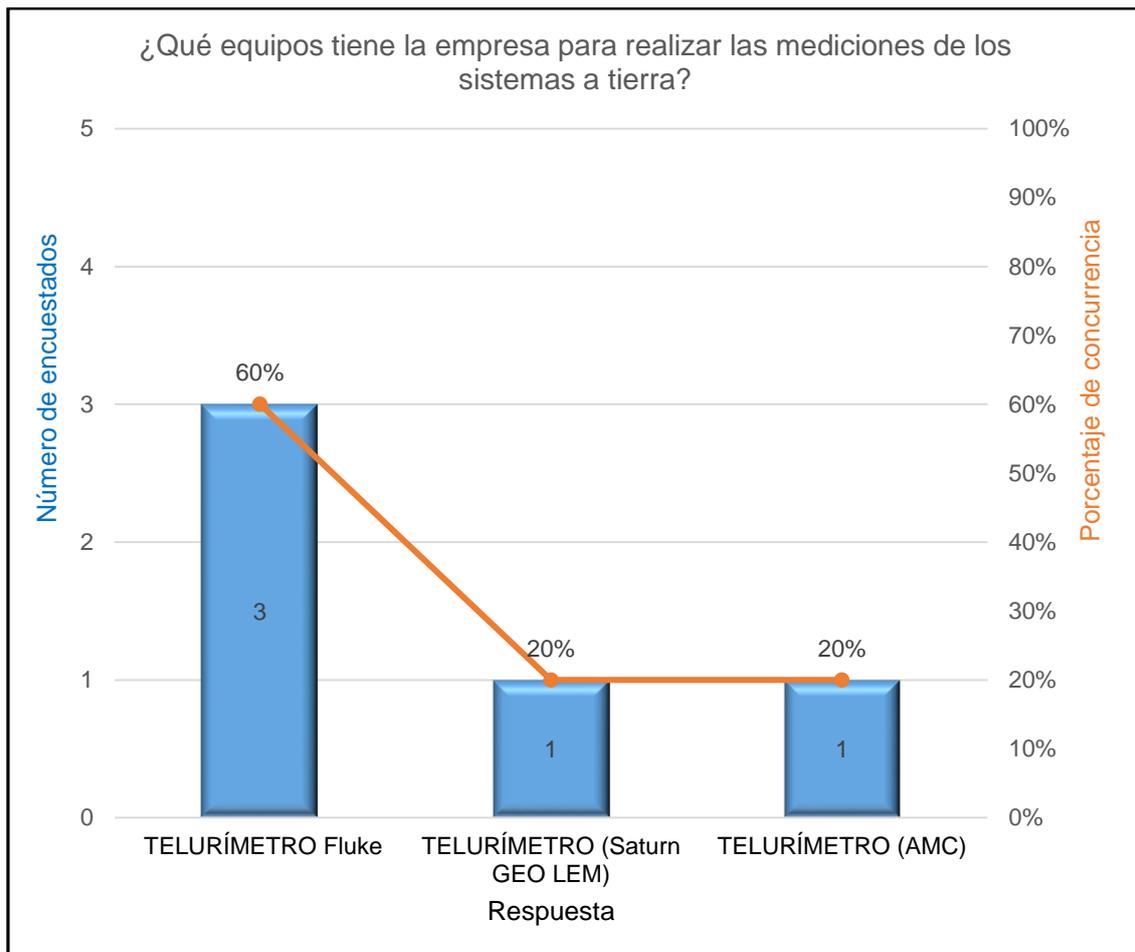


Fig. N° 13 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Los equipos más importantes son:

- Telurómetros.
- Pinzas amperimétrica para medir la resistencia de la tierra.
- Multímetro para medir continuidad.

- Medidor de aislamiento.

Análisis de resultados:

Los elementos que tiene la empresa son excelentes cumplen con las funciones y necesidades para realizar el trabajo de inspección y medición de los sistemas a tierra.

Pregunta Número 3:

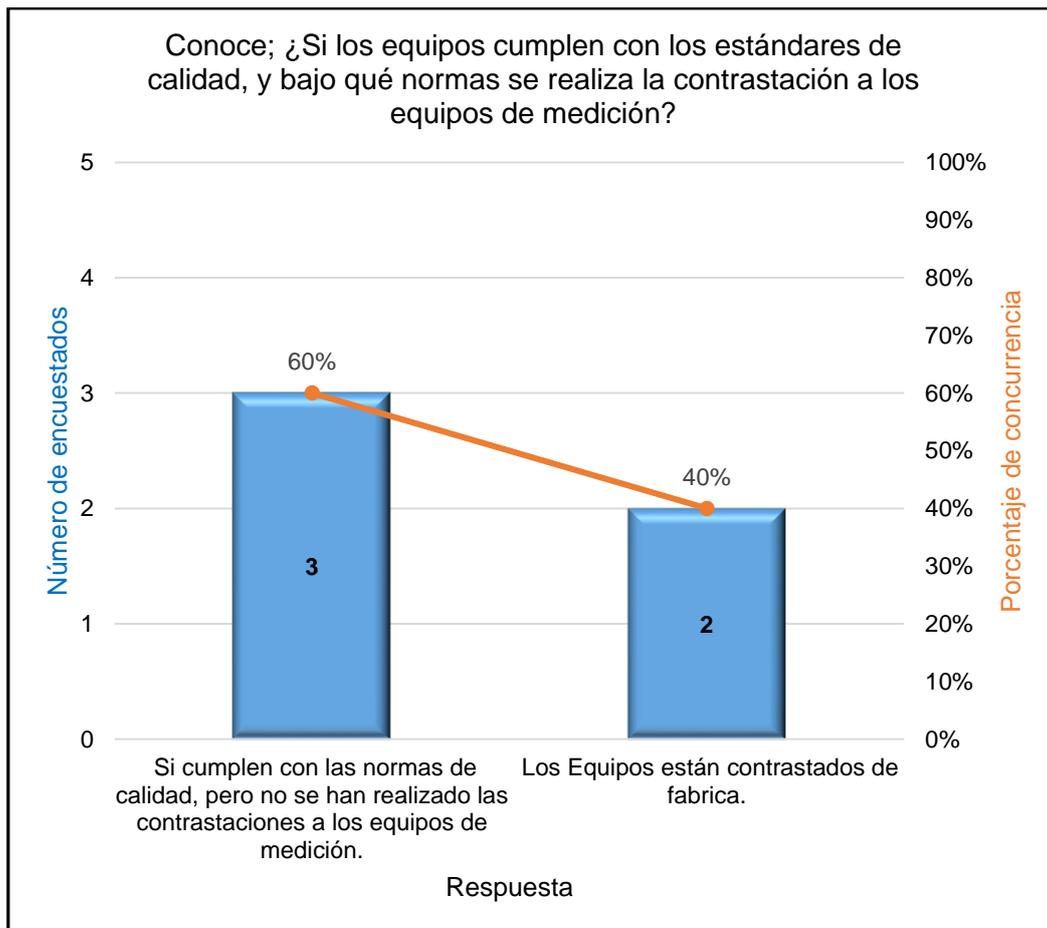


Fig. Nº 14 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

- Un certificado de calibración no debe tener fecha de “vencimiento”.
- La norma de referencia para los laboratorios de calibración y de ensayos es la IRAM 301-ISO 17025.

- En general el fabricante declara, en el manual de instrucciones, el período durante el cual el instrumento debería cumplir con las especificaciones de exactitud.

Análisis de resultados:

Por la información recolectada los equipos no tienen ningún mantenimiento o calibración, generalmente el distribuidor del producto o empresa que lo distribuye se encarga de llevar un control de estos elementos, pero en este caso no se lo ha realizado ya que no han presentado ningún desperfecto o daño.

Pregunta Número 4:

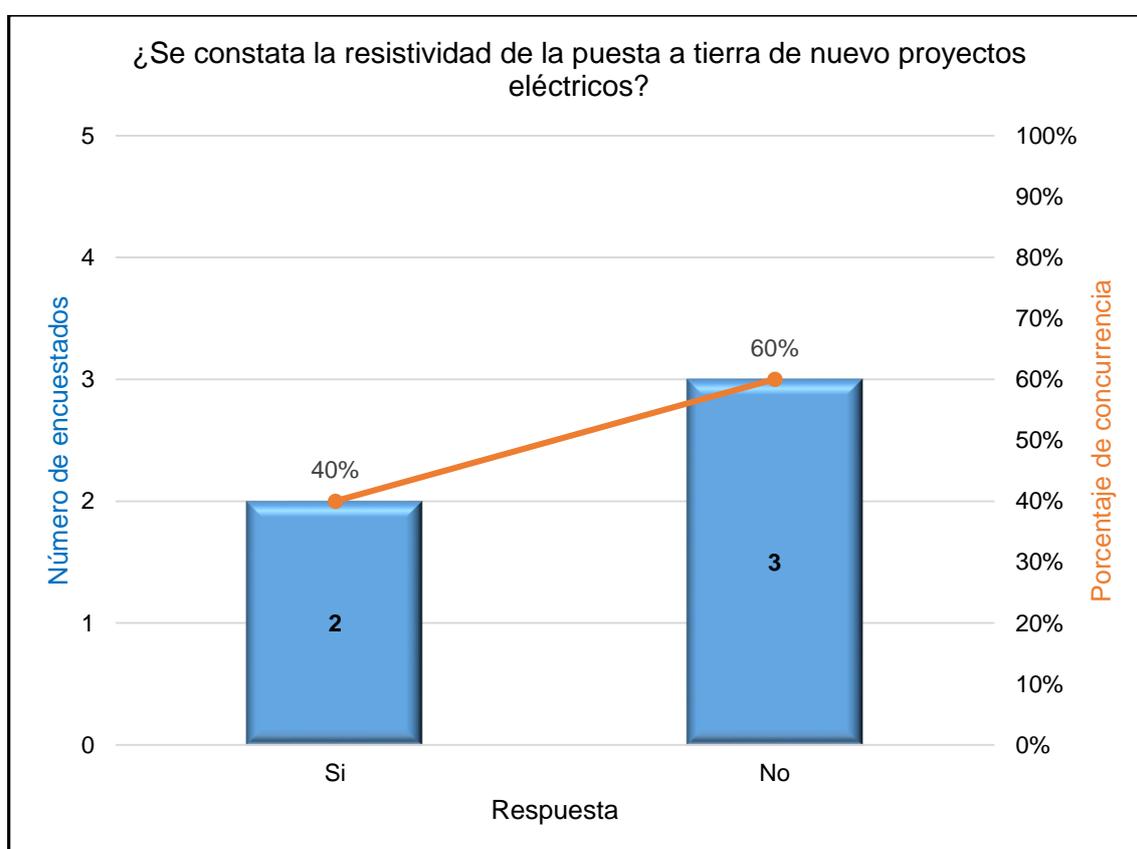


Fig. Nº 15 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

En todo proyecto de Construcción de Sistemas Eléctricos de Potencia debe existir un registro de todos los valores de operación del mismo, con la finalidad de llevar un registro para contrastación y análisis de deterioro por el tiempo y futuros mantenimientos.

Análisis de resultados:

En la construcción de nuevos Sistemas Eléctricos de Potencia es obligatorio llevar un registro o informe de los valores iniciales con los que opera el sistema eléctrico, es la hoja de vida y base de datos que se tomara como referencia para revisar si cumple con los estándares de calidad, también para revisar si esta cumple con las indicaciones y planos de construcción del mismo. El departamento de Fiscalización de Emelnorte está encargado de verificar que se cumpla estos procedimientos.

Pregunta Número 5:

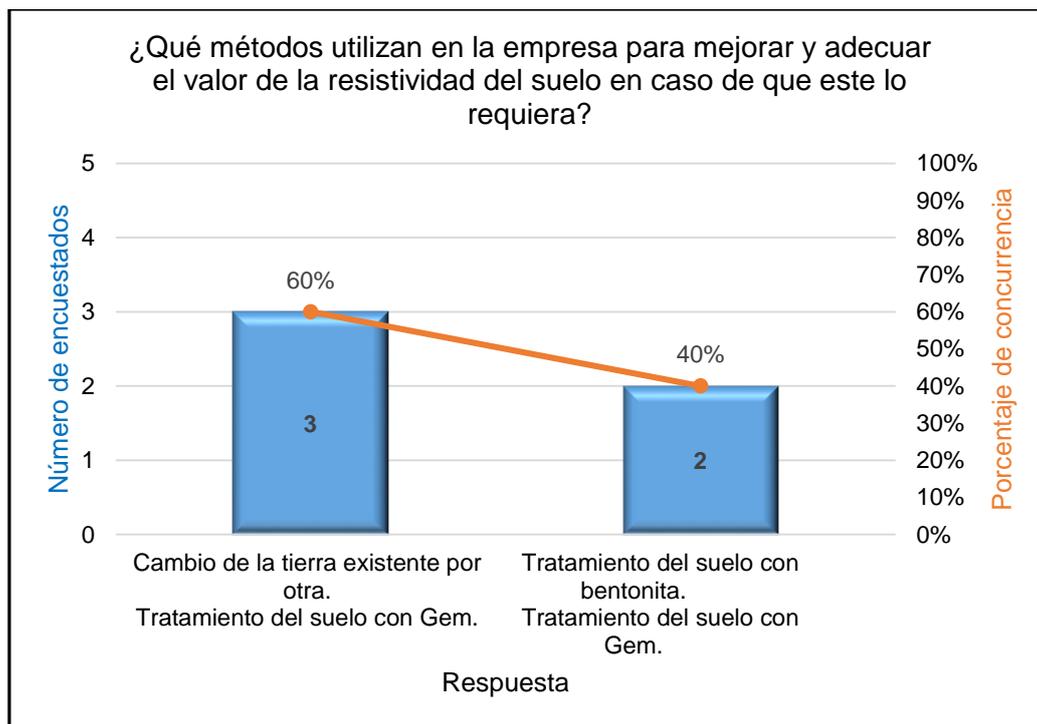


Fig. N° 16 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Los métodos a utilizar para mejorar la conductividad del terreno son arbitrarios, dependiendo del presupuesto económico del usuario, se puede emplear cualquier método siempre y cuando este no dañe o contamine el suelo por sustancias tóxicas para el medio ambiente. A continuación, se enumera algunos métodos más utilizados.

- Tratamiento del suelo con bentonita o arcilla.
- Tratamiento del suelo con sales minerales.
- Cambio de la tierra existente con otra tierra de mejor características de resistividad.

- Tratamiento del suelo con Gem bajo en resistividad.

Análisis de resultados:

Por lo general Emelnorte no construye los Sistemas Eléctricos de Potencia como subestaciones eléctricas o centros de generación (Hidroeléctricas), esa es la razón por la cual no emplea los diferentes métodos que se indica, al realizar sistemas de puesta a tierra en escala menor como son transformadores y alumbrado eléctrico, utilizan los básicos y necesarios con son:

- Cambio de la tierra existente por otra de mejor características de resistividad.
- Tratamiento del suelo con bentonita o arcilla.

Pregunta Número 6:

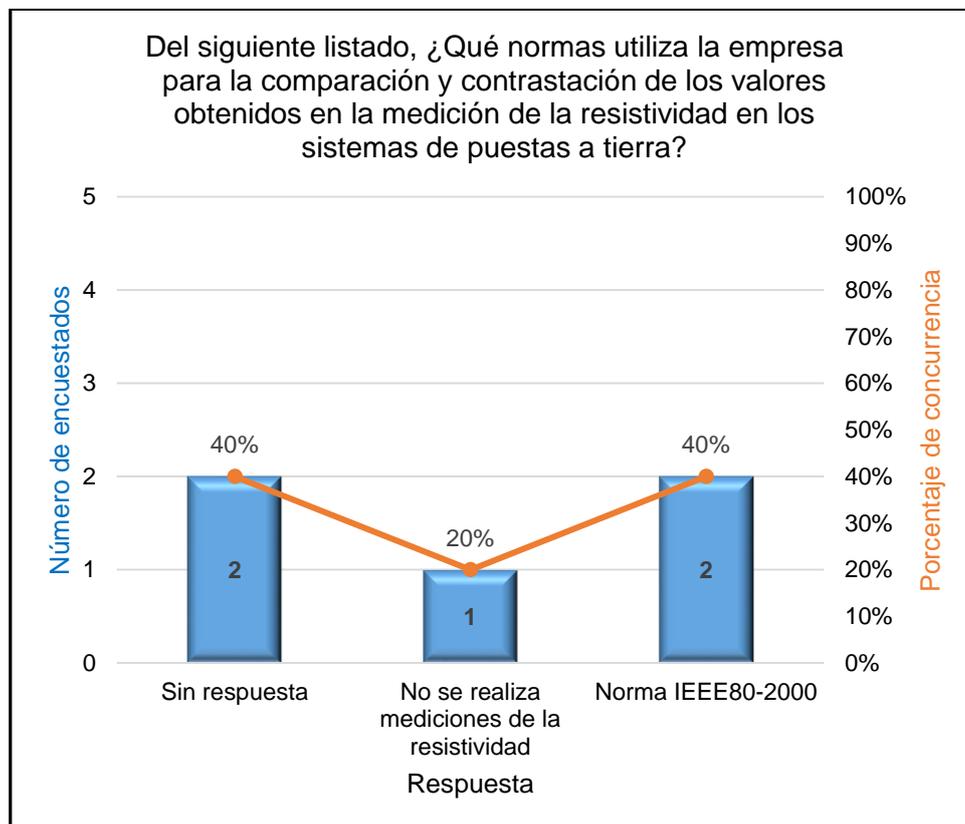


Fig. N° 17 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Existen normas internacionales que regulan los sistemas de puesta a tierra como son:

- IEE80-2000.
- IEE81-2012.
- IEEE 142-1991

Existe también un documento nacional que regula la construcción de sistemas de puestas a tierra.

- NEC

Análisis de resultados:

Los valores establecidos para los Sistemas de Puesta a Tierra en los diferentes sistemas eléctricos de potencia que maneja la empresa si se los conoce el personal, pero la norma a cuál pertenece no es del conocimiento de todos, generalmente cada empresa trabaja con sus normas en Ecuador, al no existir normas realizadas de nuestra autoridad se adaptan o utilizan las normas extranjeras e internacionales, al existir variedad de ellas es un motivo por el cual no se tiene conocimiento de todas las normas.

Pregunta Número 7.

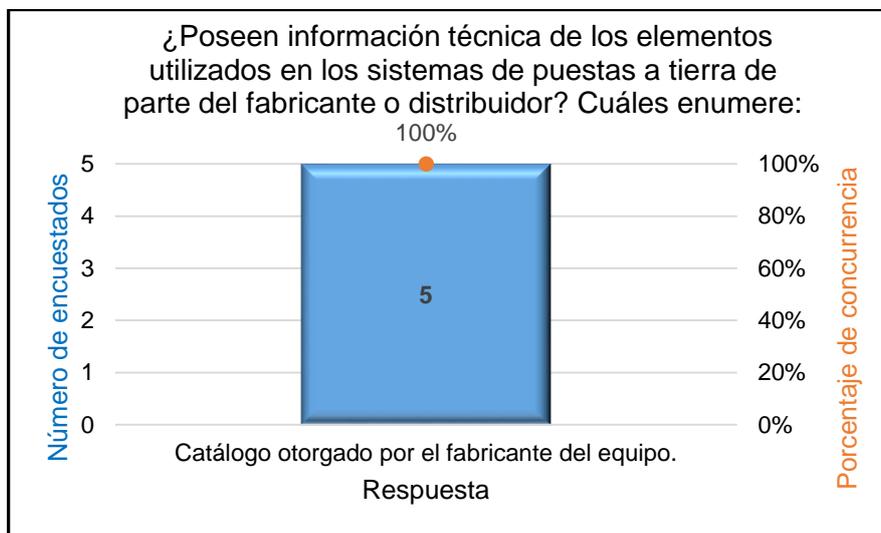


Fig. Nº 18 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Una de las referencias más importantes que manejamos en los materiales de construcción es la ficha técnica. La ficha técnica de un material debería especificar al menos:

- La composición del material.
- Las características físico químicas y propiedades, con referencia a los ensayos realizados que las confirman, en su caso.
- Los usos posibles y recomendados o campos de aplicación.
- Las instrucciones de uso.
- Las condiciones de necesarias de los elementos con los que puede interactuar.
- Las condiciones físico-ambientales de uso.
- Los modos, sistemas, volúmenes o unidades de suministro habitual.
- Las condiciones de almacenaje.
- Las características necesarias de mantenimiento.

Análisis de resultados:

La información técnica que maneja Emelnorte de sus elementos es la adecuada ya que los productos que adquiere la empresa están aprobados y certificados bajo las normas de calidad INEN de Ecuador, esto garantiza la calidad del producto ya que para tener la aprobación y certificación INEN de estos productos, se realizan pruebas rigurosas y estrictas de calidad.

Pregunta Número 8.

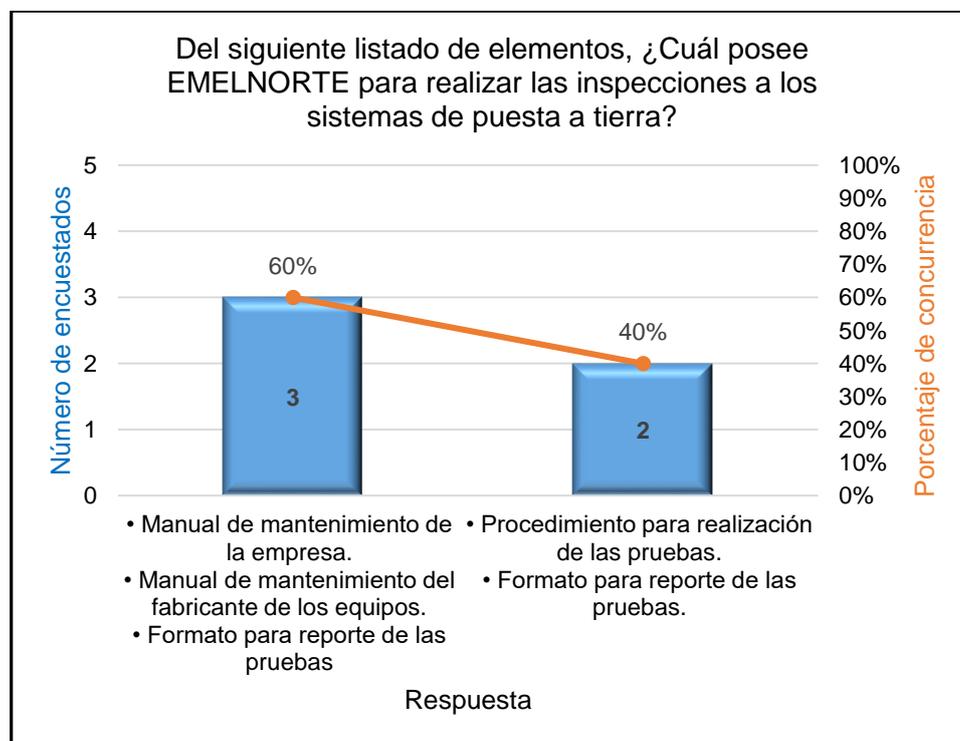


Fig. N° 19 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Para realizar un mantenimiento es necesario tener un variado grupo de documentos técnicos que facilitaran todos los procesos a realizar y registrar el mismo con la finalidad de tener una base de datos, estos pueden ser:

- Manual de mantenimiento de la empresa.
- Manual de mantenimiento del fabricante de los equipos.
- Formato para diagnóstico e inspección de equipos.
- Hoja de vida de los equipos.
- Normas para prueba de equipos.
- Procedimiento para realización de las pruebas.

- Formatos para reporte de las pruebas.

Análisis de resultados:

Realizando una comparación se observa que Emelnorte trabaja con distintos documentos y manuales técnicos, adecuados y necesarios para realizar los trabajos de mantenimiento de los sistemas eléctricos de la empresa, también se puede deducir que se realiza un registro y administración correcta de estos trabajos y actividades con la ayuda de informes y fichas técnicas además de ordenanzas de trabajo, con la finalidad de tener una base de datos para tener un registro e información de los mantenimientos realizados y futuros mantenimientos a realizar.

Pregunta Número 9.

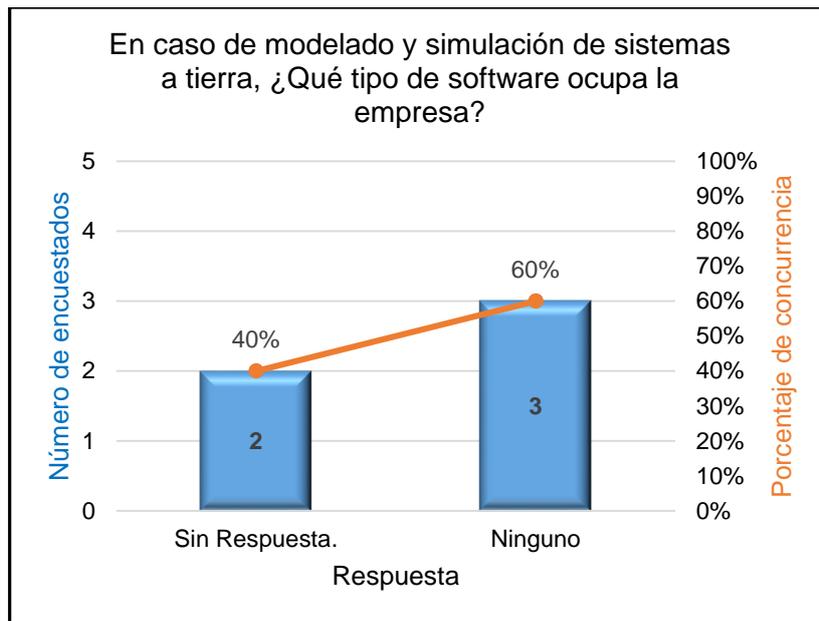


Fig. N° 20 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Software que se pueden utilizar para simular y dimensionar sistemas de puestas a tierra en base a datos como corriente de corto circuito, área del terreno, resistividad del suelo etc.

- Aspix.
- ETAP.
- Excel.

Análisis de Resultados:

Los funcionarios de Emelnorte no realizan el modelado o diseño de las protecciones de Puestas a Tierra en los diferentes Sistemas Eléctricos de Potencia; para realizar ese trabajo se contrata empresas para la construcción de Subestaciones, Hidroeléctricas, etc. Los funcionarios de EMELNORTE dirigen y operan estos sistemas, esta es la razón por la cual ellos no manejan programas de diseño o simulación para calcular y diseñar los Sistemas de Puestas a Tierra. Pero tienen funciones como calcular en hojas Excel las corrientes de cortocircuito y voltajes máximos con los que puede operar la empresa sin que corra riesgo de sobrecarga y produzca daños en estos Sistemas Eléctricos.

Pregunta Número 10.

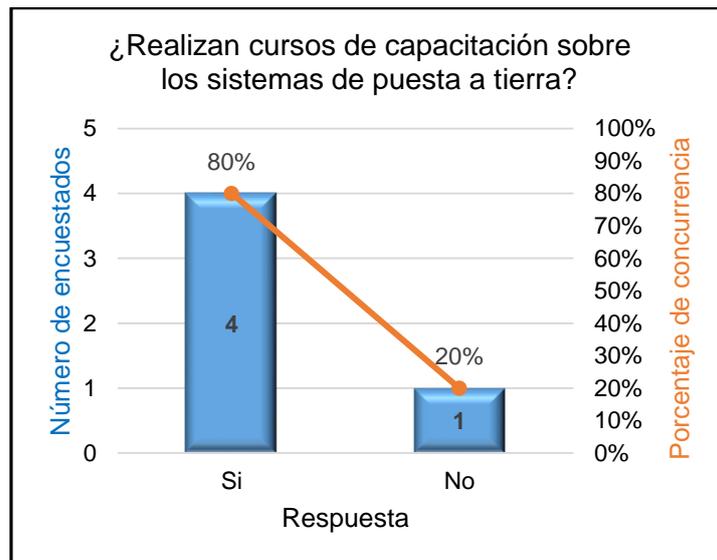


Fig. N° 21 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

No existe una norma o ley que indique cada qué tiempo debe realizarse cursos de capacitación en el año, sin embargo, existen varios indicadores o aspectos a considerar para realizar un curso:

- El comienzo de algo nuevo.
- La formación inicial de personal.
- La formación continua en el trabajo de personal.
- La demostración de un concepto nuevo.

Análisis de Resultados:

Generalmente en las empresa o industria se realizan cursos de capacitación al contratar nuevo personal, además el personal debe estar capacitado técnicamente para desempeñar su función en el área laboral. Los cursos de capacitación extras que se puede recibir en la mayoría de los casos es cuando se introduce un nuevo método o producto con el cual se va a trabajar.

Los sistemas de puesta a tierra al ser sistemas no muy complejos en el área de avances tecnológicos no requieren de capacitaciones continuas ya que son técnicas y sistemas que no tienen un crecimiento considerable en comparación con otras áreas en el

campo eléctrico, un manual técnico es necesario y suficiente para recordar y tener en cuenta todas las precauciones que se deben considerar al trabajar en esta área.

2.2 Tabulación y análisis de los resultados del cuestionario realizado al personal encargado del Departamento de Subestaciones eléctrica.

Pregunta Número 1.

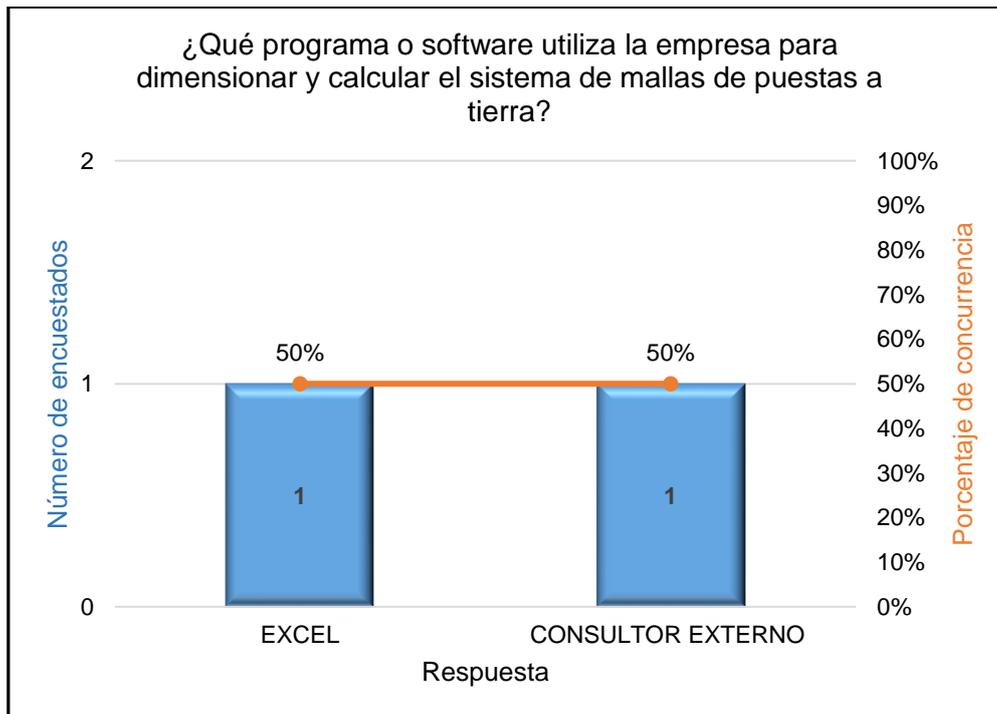


Fig. N° 22 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Aspix: Programa para el análisis y diseño de mallas de puesta a tierra de subestaciones con base en los requerimientos de la IEEE 80 "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding".

Análisis de Resultados:

Los funcionarios de EMELNORTE no realizan el modelado o diseño de las protecciones de Puestas a Tierra en las Subestaciones de distribución para realizar ese trabajo se contrata a empresas para la construcción de Subestaciones. Los funcionarios de EMELNORTE dirigen y operan estos sistemas, esta es la razón por la cual ellos no manejan programas de diseño o simulación para calcular y diseñar los Sistemas de Puestas a Tierra.

Pero tienen funciones como calcular en hojas Excel las corrientes de cortocircuito y voltajes máximos con los que puede operar la subestación sin que corra riesgo de sobrecarga y produzca daños en estos Sistemas Eléctricos.

Pregunta Número 2.

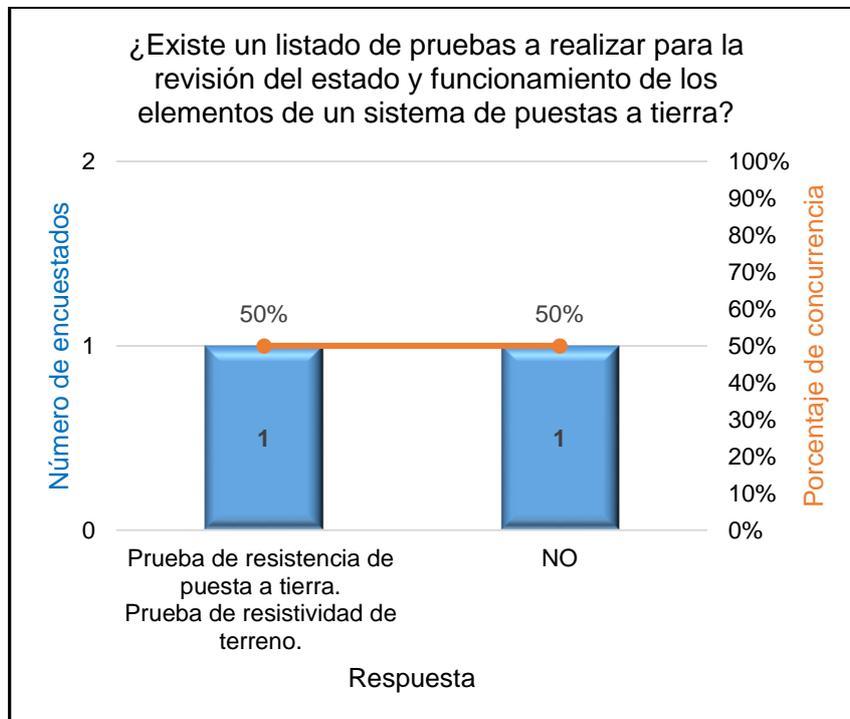


Fig. N° 23 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Existe diferentes pruebas que se pueden realizar en una Subestación Eléctrica para identificar las fallas de los sistemas de puestas a tierra estos pueden ser pruebas en mantenimientos preventivos o predictivos.

Pruebas para Mantenimiento Preventivo:

- Inspección calibre del cable de puesta a tierra.
- Inspección de los electrodos de puesta a tierra, características técnicas.
- Limpieza de gravilla.
- Medida de la resistencia de puesta a tierra.
- Verificación, conexiones de los equipos y estructuras a la malla de puesta a tierra.
- Pruebas para Mantenimiento Predictivo:

- Medida de la resistencia de puesta a tierra.
- Medida de tensiones de paso y contacto.

Análisis de Resultados:

Generalmente siempre se debe tener una planificación para realizar un mantenimiento, el plan de mantenimiento normalmente va dirigido a los equipos más costosos de una Subestación como es un Transformador de Potencia, al ser el alma de la Subestación y el elemento más importante tiene prioridad ante los demás elementos, es por eso que no existe documentación o manuales enfocados directamente en los sistemas de Puesta a Tierra, si no que se lo considera algo secundario para la realización de los trabajos de mantenimiento predictivo o preventivo. Estos elementos secundarios se los toma como prioridad solo en el caso que estén descompuestos y altere el funcionamiento normal del sistema eléctrico específicamente una Subestación Eléctrica de distribución.

Pregunta Número 3.

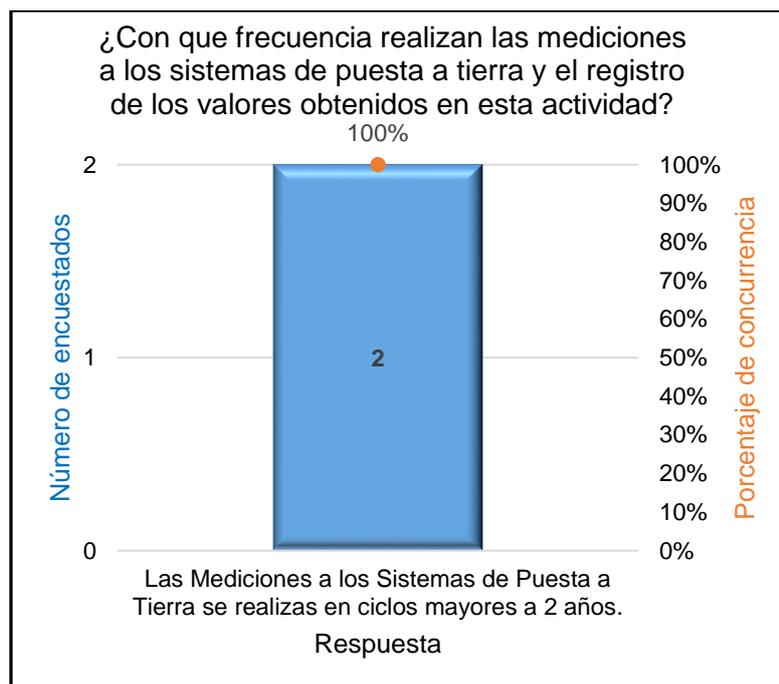


Fig. Nº 24 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

- Cada 5 años se realiza la medición y registro de estos valores. (ICE).

- Realizar una medición anual de los sistemas y si no es posible esta se debe realizar en un periodo no máximo a 3 años.

Análisis de Resultados:

Por la dificultad que presenta realizar la medición de mallas de puesta a tierra en una Subestación se lo realiza en periodos de largo tiempo, estos pueden ser entre 3 a 5 años, por lo general la confiabilidad de la vida útil de la malla lo amerita así, otro elemento a considerar es el suelo donde está ubicada la Subestación, este necesita de limpieza constante para que no altere su composición por agentes contaminantes externos y así no cambien el valor de la resistividad del mismo.

Pregunta Número 4.

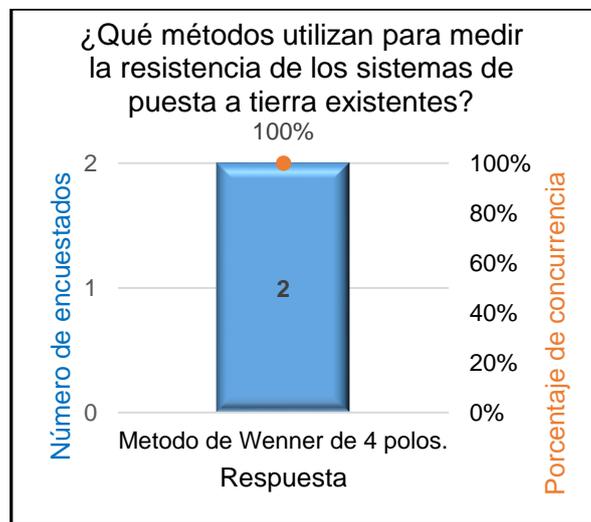


Fig. N° 25 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Al existir diversos sistemas y elementos que componen la puesta a tierra en una subestación eléctrica existen varias formas o métodos para medir cada uno de ellos con esto se logra realizar el trabajo de una manera mucho más eficiente.

Para medir la resistividad del suelo (Comisión federal de electricidad México):

- Método Wenner 4 polos.
- Método caído de tensión. (3 puntos).
- Método de 2 resistencia.

Para medir resistencia de picas (Comisión federal de electricidad México).

- Método de 62%.
- Pinzas de tierra.

Medición Del Sistema De Puesta A Tierra En Subestaciones Sólidamente Aterrizadas(ice):

- Método del vatímetro

Análisis de Resultados:

Los empleados de Emelnorte utilizan ese método por su facilidad y confiabilidad es el procedimiento universal creado para los telurómetros sea de 3 o 4 salidas con este método se puede medir la resistividad del suelo y también la resistencia del sistema de malla de puestas a tierra. Existen varios métodos, pero este depende de los equipos de medición que se utilizan como por ejemplo Pinzas de Tierra, Telurómetros de 3 puntas o salidas entre otros

Pregunta Número 5.

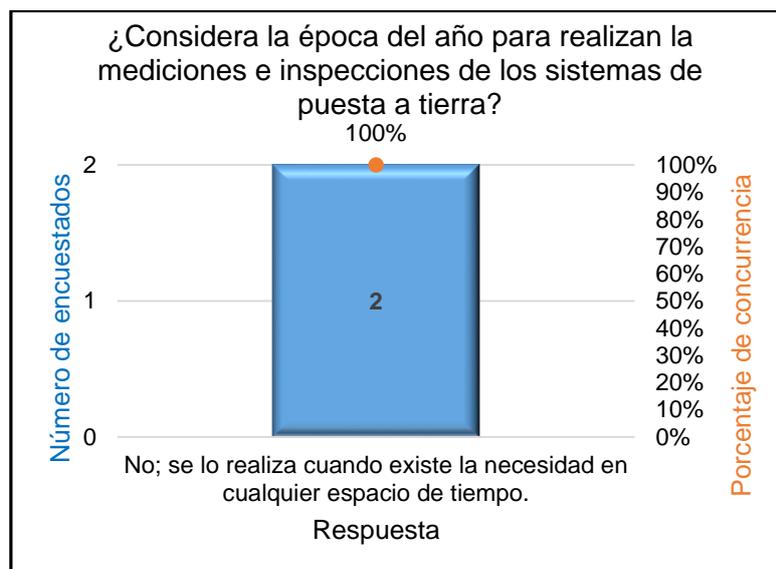


Fig. N° 26 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

En verano se debería realizar las mediciones; la razón es porque es la época con mayor sequía en el suelo y esto afecta directamente a la conductividad del suelo por la falta de humedad y agua en la tierra, entonces si en época de sequía la resistividad del terreno

está en óptimas condiciones el resto del año estará igual o mejor dependiendo la humedad que aumentara por lluvias de invierno.

Análisis de Resultados:

Al no existir un plan de mantenimiento para los sistemas de puesta a tierra, el mantenimiento se lo realiza en caso de que ocurra una falla o daño. Debería programarse un mantenimiento preventivo o predictivo al menos una vez al año para tener un control y registro del comportamiento y degradación del mismo. El mantenimiento predictivo o preventivo se lo hace midiendo el valor de la resistividad del suelo en verano, ya que al ser la época más seca y como la resistencia depende directamente del porcentaje de humedad del suelo, el valor de la resistencia del suelo tiende a aumentar y si en esa época del año el valor esta sobre los límites de aceptación se concluye que el resto del año estará en condiciones óptimas por el cambio de estaciones de verano a invierno sucesivamente.

Pregunta Número 6.

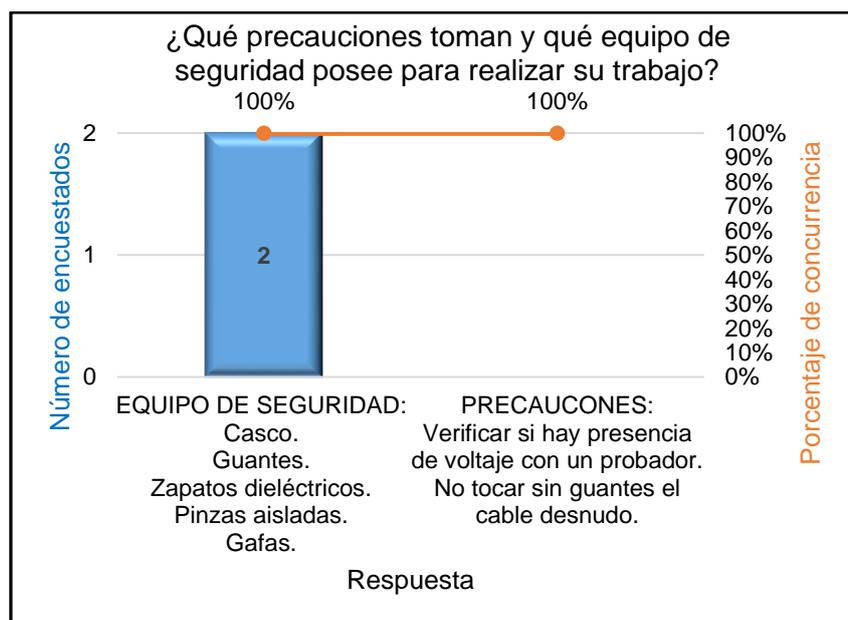


Fig. N° 27 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Equipo De Seguridad:

- Guantes dieléctricos Clase 3 para 26.5 kV
- Sobre guante de carnaza.

- Guante interno de algodón.
- Casco dieléctrico tipo gorra.
- Botas dieléctricas con casquillo.
- Gafas dieléctricas de policarbonato.
- Tarima dieléctrica de 81 x 89 x 5 centímetros.
- Ropa anti flama y riesgo de arco eléctrico.

Precauciones:

- Existe el peligro potencial de choque eléctrico o quemaduras severas cuando se trabaja con equipos eléctricos.
- La Subestación debe ser desenergizada antes de trabajar dentro de esta.

Análisis de Resultados:

Los equipos de seguridad que utiliza la empresa son los adecuados y también las precauciones que ponen en práctica al realizar los trabajos, en el área de seguridad para el personal no se puede escatimar en precios de equipamiento tampoco evadir o saltar los protocolos de seguridad ya que se pone en riesgo la salud humana y en las empresas siempre se prioriza la seguridad ocupacional del personal laboral o empleados.

Pregunta Número 7.

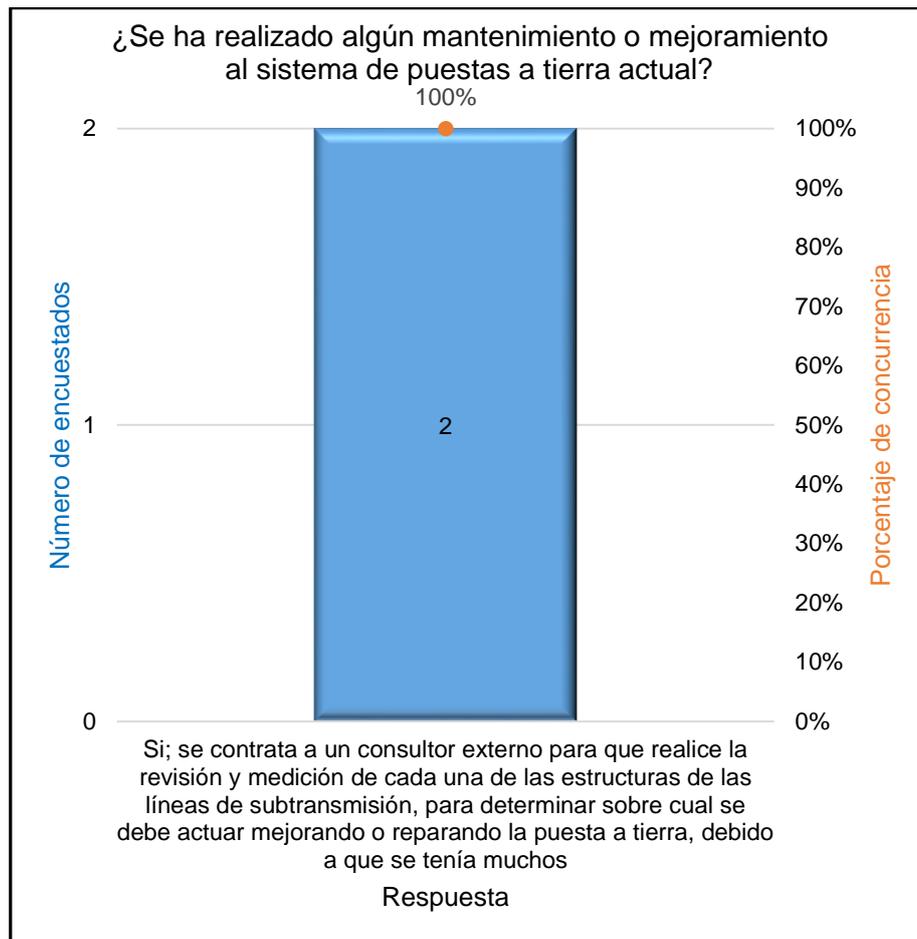


Fig. N° 28 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Las readecuación o expansión de un sistema de mallas de puesta a tierra se realizan al momento de encontrar falencias en la disipación de las corrientes de falla, un indicador o señal es que los protecciones o fusibles se activan al regresar la corriente del piso nuevamente al sistema eléctrico de la subestación. Esto puede ocurrir debido al incremento de la tensión en la subestación o degradación del sistema de puesta a tierra. Para corregir esta falla se debe diseñar la malla con los nuevos valores con los que opera la subestación considerando un factor de incremento anual. Todos estos parámetros ayudaran a diseñar una nueva malla que opere en un rango aceptable y no este sobredimensionada para evitar gastos innecesarios de material de construcción.

Análisis de Resultados:

Algunos trabajos de mantenimiento más complejos en los sistemas de puesta a tierra de Emelnorte se realizan contratando personal privado, debido a varios factores como puede

ser el personal especializado en estos trabajos, las herramientas que se utilizan, la experiencia, o la garantía que debe cubrir las empresas distribuidoras de las máquinas y equipos de los sistemas eléctricos de potencia, todos estos factores influyen en la reparación o mantenimiento de los sistemas a tierra en las subestaciones de Emelnorte dependiendo de la capacidades de la misma algunos trabajos de mantenimiento los realiza los funcionarios de la empresa.

Pregunta Número 8.

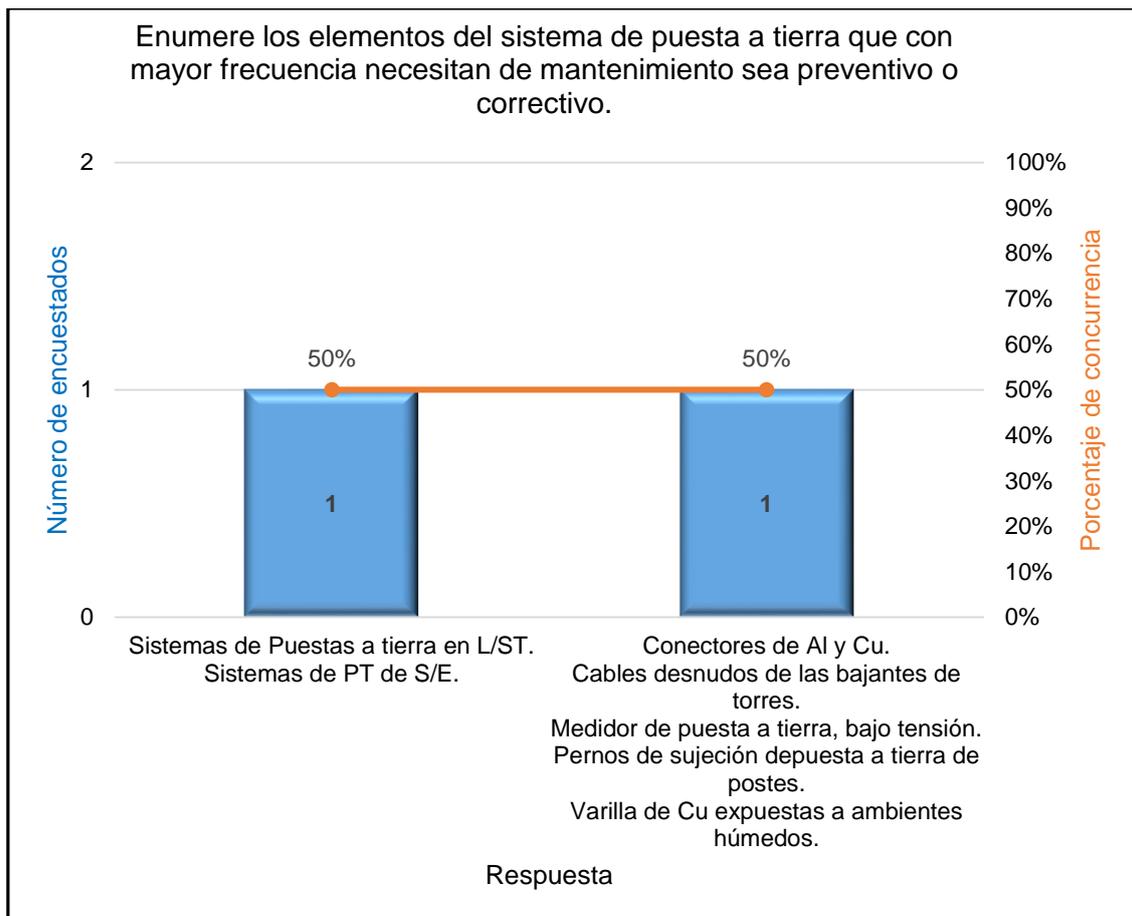


Fig. N° 29 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Los elementos que mayormente tienden a fallar son los utilizaos para interconectar todos los elementos de la subestación a la malla de puestas a tierra

- Elementos para conexión.
- Abrazaderas.
- Sueda exotérmica.
- Conector de presión.

Análisis de Resultados:

Los elementos que con mayor frecuencia que necesitan un mantenimiento preventivo son los que están expuestos directamente al medio ambiente, estos elementos pueden ser uniones y abrazaderas que sirven para unir las bajantes de los equipos al sistema de malla de puesta a tierra. En casos particulares en el que el sistema de puesta a tierra no abastece a disipar las corrientes de cortocircuito, los elementos que se dañan serán las protecciones y fusibles.

Pregunta Número 9.

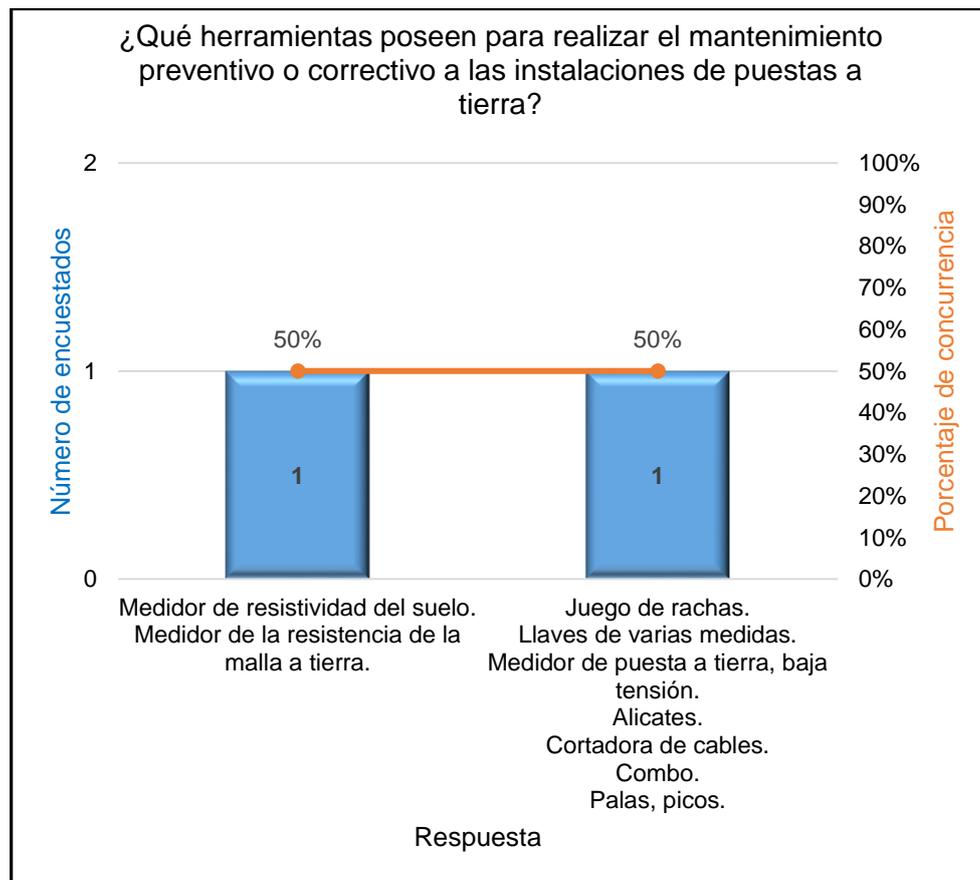


Fig. N° 30 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Las herramientas que con mayor frecuencia se utilizan en una subestación para los trabajos de mantenimiento son:

- Palanca de operación de Interruptor y cuchilla.
- Desarmadores.
- Llaves tipo española.
- Dados y Matracas.

- Llaves ajustables(inglesa-Pico).
- Pinzas (Presión-Corte-Electricidad-Mecánicas).
- Equipos de medición Eléctrica(Telurómetros-Multímetro-Amperímetro).
- Equipos de excavación(Pala-Pico-Barreta).
- Equipo para limpieza (Cepillo de alambre- Espátula-liquido desoxidante-Trapos de limpieza.)

Análisis de Resultados:

Para realizar un mantenimiento sea preventivo o predictivo a la subestación en general, el equipo y herramientas con las que cuenta Emelnorte son las adecuadas y necesarias para realizar este tipo de actividades, para realizar mantenimientos correctivos y actividades más complejas se contrata personal especializado en este trabajo, ya que ellos cuentan con tecnología de punta y herramientas más sofisticadas para realizar estos trabajos como son el mantenimiento de un transformador y la ampliación de un sistema de mallas de puesta a tierra.

Pregunta Número 10.

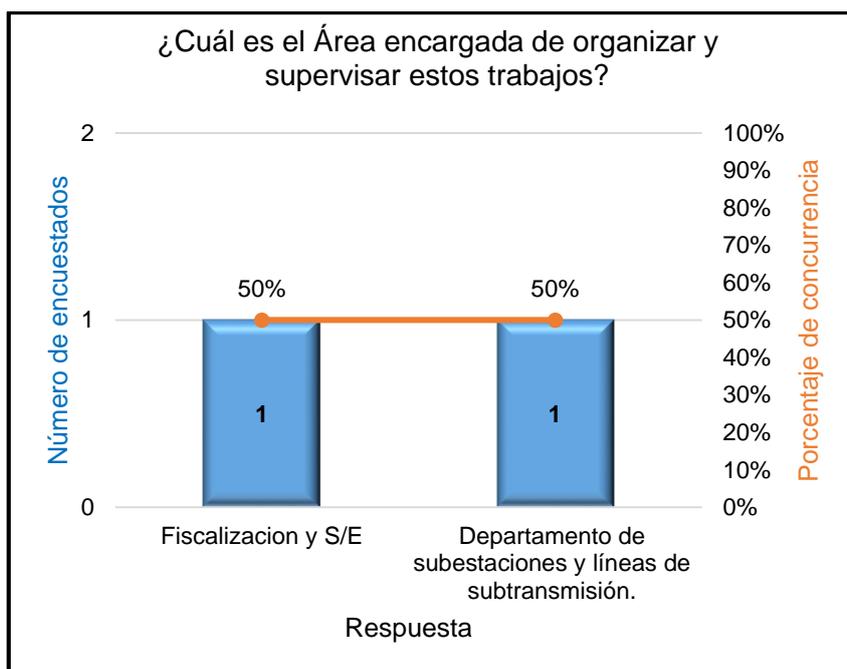


Fig. Nº 31 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Generalmente el departamento o área de Fiscalización se encarga de controlar el cumplimiento de las normas y procedimientos aplicables a la Distribución, Generación y Comercialización de Electricidad.

Análisis de Resultados:

Al intervenir varias áreas o departamentos en el manejo y control de una subestación se realiza reuniones para delegar las actividades de mantenimiento y personal a realizarlo, generalmente deben intervenir los departamentos de Subestación. Distribución y Fiscalización, para organizar y coordinar el plan de logística, si lo puede realizar el personal de EMELNORTE o es necesario contratar personal privado para realizar estas actividades.

Emelnorte al realizar los trabajos de mantenimiento básicos en las subestaciones no necesitan de informes y fichas laborales complejas o detalladas, trabajan con reportes de pruebas para llevar una base de datos de las actividades realizadas en el año, para actividades más complejas o mantenimientos correctivos contratar empresas para realizar estos trabajos.

2.3 Tabulación y análisis de los resultados del cuestionario realizado al personal de Dirección de Generación.

Pregunta Número 1.

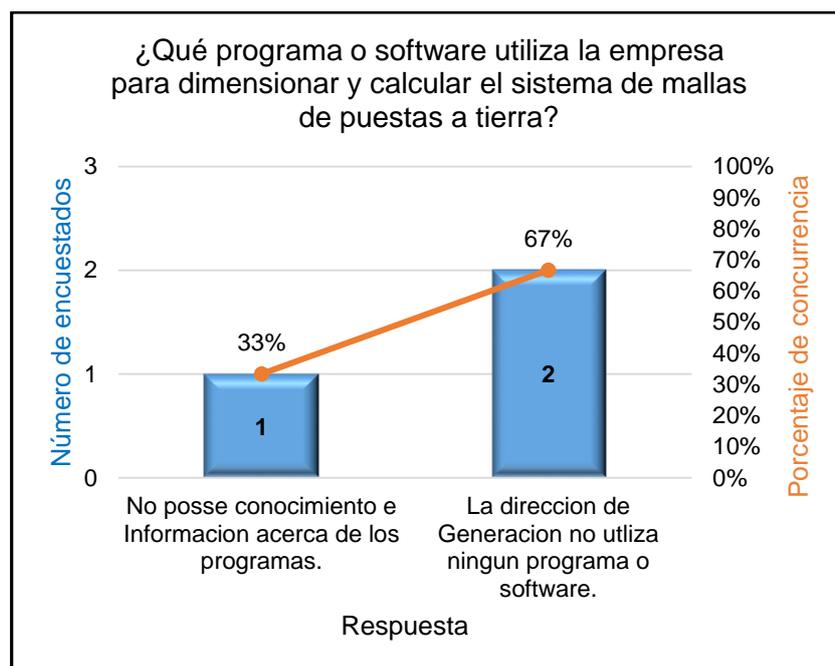


Fig. Nº 32 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.

Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Aspix. _ Programa para el análisis y diseño de mallas de puesta a tierra de subestaciones con base en los requerimientos de la IEEE 80 "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding".

Análisis de Resultados:

Los funcionarios de Emelnorte al no realizar trabajos de ampliación de sistemas de mallas a tierra o diseño de los mismos, no emplean ningún programa referente a esta actividad, en caso de que se requiera realizar correcciones o modificación a los sistemas de mallas de puesta a tierra contratan a una empresa privada que realice todos estos estudios para solucionar el problema en los sistemas de puestas a tierra en los centros de generación eléctrica de Emelnorte.

Pregunta Número 2.

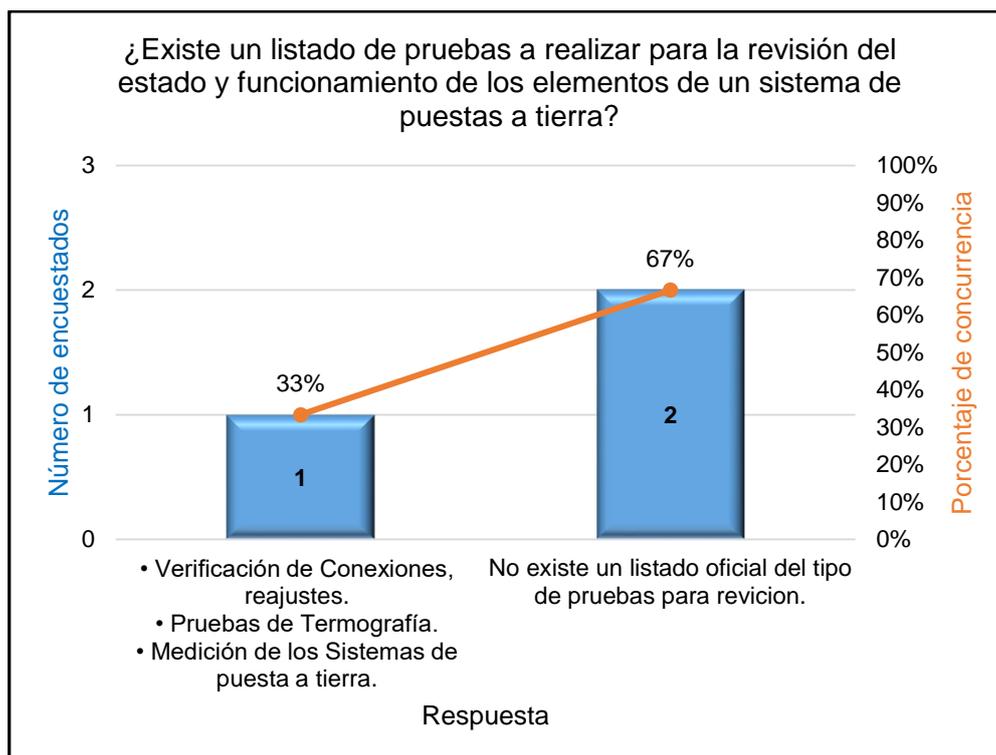


Fig. N° 33 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

El listado de pruebas a realizarse en una subestación eléctrica también se puede utilizar en los centros de Generación Eléctrica ya que sus sistemas de mallas de puestas a tierra tienen en nivel de similitud por los equipos a los que van conectados como son tableros de control, transformadores, con la excepción del cuarto de maquinaria donde opera la turbina. En todo caso el listado de pruebas es adaptable a este sistema como es la hidroeléctrica.

Pruebas para Mantenimiento Preventivo:

- Inspección calibre del cable de puesta a tierra.
- Inspección de los electrodos de puesta a tierra, características técnicas.
- Verificación cajas de pruebas.
- Medida de la resistencia de puesta a tierra.
- Verificación, conexiones de los equipos y estructuras a la malla de puesta a tierra.

Pruebas para Mantenimiento Predictivo:

- Medida de la resistencia de puesta a tierra.
- Medida de tensiones de paso y contacto.

Análisis de Resultados:

El listado de actividades que tiene Emelnorte para la revisión de los sistemas de puesta a tierra depende primordialmente del daño que este aconteciendo en ese momento de otra manera no existe un listado general como se describe en la encuesta para realizar un mantenimiento sea deductivo o prevenido a los sistemas de puesta a tierra. Por otra parte, se realiza una revisión de manera simplificada a estos sistemas ya que el mantenimiento periódico que se realiza en los centros de generación va dirigido a los elementos de mayor importancia por funcionalidad y costos de adquirió como son generadores y transformadores.

Pregunta Número 3.

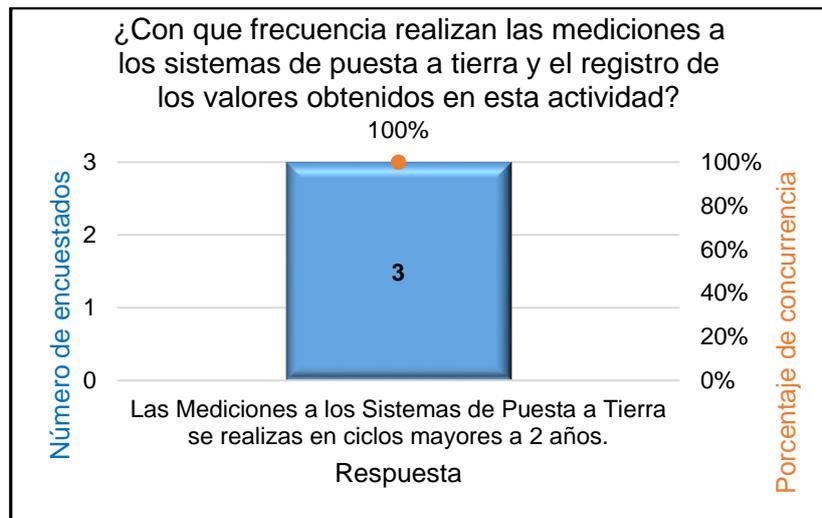


Fig. N° 34 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Recopilando información de Empresa internacionales encargadas de realizar estos tipos de mantenimiento a grandes escalas indican y recomiendan que para el registro y medición en los sistemas de puestas a tierra.

- Cada 5 años se realiza la medición y registro de estos valores (ICE).
- Realizar una medición anual de los sistemas y si no es posible esta se debe realizar en un periodo no máximo a 3 años (Revista Electro Industria).

Análisis de Resultados:

Por la dificultad que presenta realizar la medición de la malla de puesta a tierra en una Hidroeléctrica se lo realiza en periodos de largo tiempo, estos pueden ser entre 3 a 5 años, por lo general la confiabilidad de la vida útil de la malla lo amerita así, ya que existen casos particulares del piso que esta adoquinado o pavimentado cubriendo y protegiendo así a los sistemas de puesta a tierra para este tipo de superficies se construyen posos de revisión o mantenimiento en las uniones o soldaduras de las Varillas Copperweld del sistemas de mallas de puesta a tierra.

Pregunta Número 4.

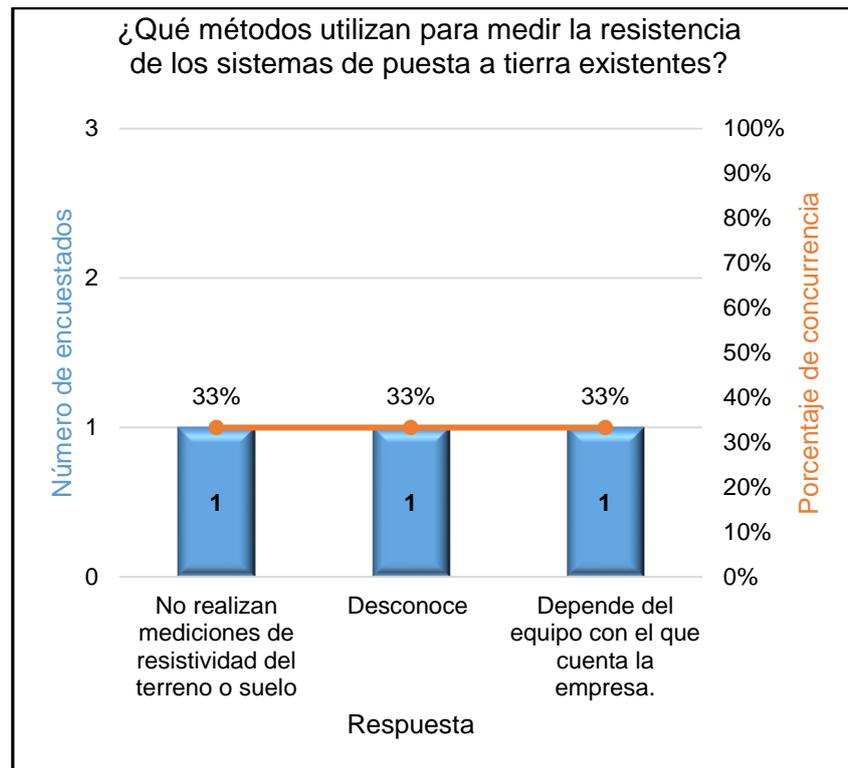


Fig. N° 35 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor.

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

El sistema de puesta a tierra al ser un tema muy amplio existe variedad de métodos y equipos que se aplican y emplean para medir y realizar el mantenimiento a este sistema a continuación se realiza un listado de los métodos que son más utilizados para realizar la medición a los diferentes elementos que componen un sistema de puestas a tierra.

Para medir la resistividad del suelo (Comisión federal de Electricidad México).

- Método Wenner 4 polos.
- Método caído de tensión. (3 puntos).
- Método de 2 resistencia.

Para medir resistencia de picas (Comisión federal de Electricidad México).

- Método de 62%.
- Pinzas de tierra.

Medición Del Sistema De Puesta A Tierra En Hidroeléctricas Sólidamente Aterrizadas(ICE).

- Método del vatímetro.

Análisis de Resultados:

Los diferentes métodos que se emplean en la medición de la resistividad del piso y de la resistencia de la malla de puesta a tierra depende directamente del equipo que tienen el departamento (Telurómetros de 3 puntas o salidas), en este caso son varios métodos se aplica con este equipo, el método universal que se creó para estos equipos que inyectan voltaje es el método de Wenner considerado el mejor por su simplicidad y confiabilidad. Pero para estos tipos de sistemas de mallas a tierra se necesitan otros equipos como son pinzas de tierra medidores de continuidad eléctrica, este conjunto de equipos asegura una correcta medición de todos los elementos que componen un sistema de mallas de tierra.

Pregunta Número 5.

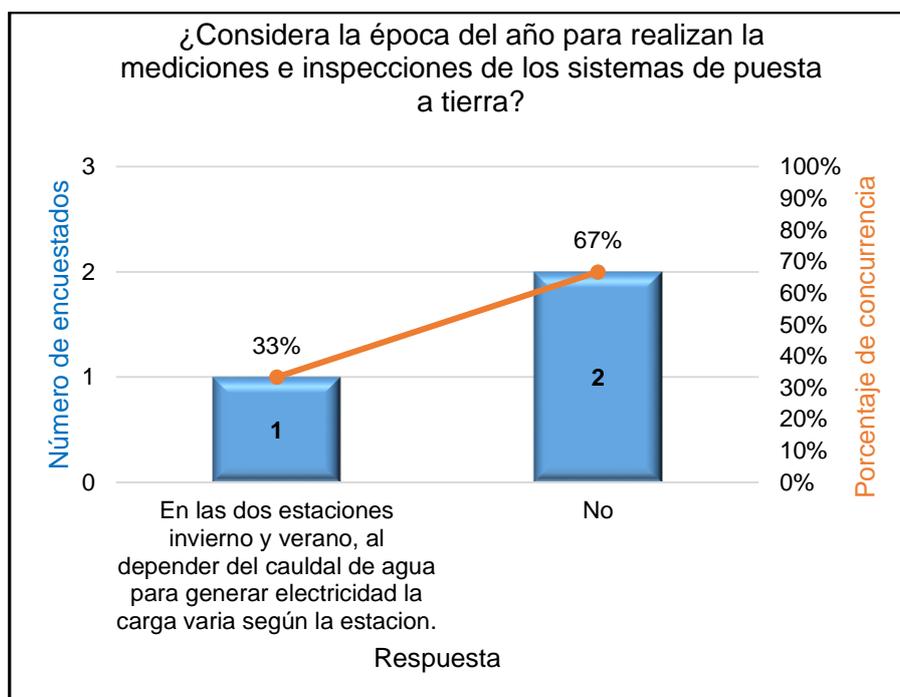


Fig. N° 36 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Para construir una Hidroeléctrica es necesario realizar un estudio del caudal y nivel de río para obtener el comportamiento del mismo en el ciclo de un año de esto dependerá la

capacidad de la turbina a instalar esto nos ayudara a obtener los valores máximos y mínimos de energía eléctrica que genere la turbina, basado en este estudio tomando en cuenta los valores de corrientes de falla y voltajes máximos se realiza el diseño de protecciones como es el sistema de puestas a tierra.

Para realizar mantenimientos y revisión de todos los sistemas eléctricos es necesario considerar las dos estaciones del clima invierno y verano uno de los casos a ejemplificar es los sistemas de puestas a tierra. Este trabajo se recomienda ejecutar en verano la razón es que se considera como la época con mayor sequía en el suelo en el año y esto afecta directamente a la conductividad del suelo por la falta de humedad y agua en la tierra, entonces si en época de sequía la resistividad del terreno está en óptimas condiciones el resto del año estará igual o mejor dependiendo la humedad que aumentará por lluvias de invierno.

Análisis de Resultados:

Para constatar que los valores de resistividad y resistencia del sistema de puesta a tierra esté en los rangos normales de funcionamiento se realiza las mediciones en las dos estaciones del año invierno y verano, en la estación invernal o de lluvias se realiza la medición por el incremento del caudal y nivel de agua con el que fluye el rio que alimenta a la hidroeléctrica ya que la máxima y mínima generación del voltaje están vinculadas directamente del caudal del agua que circula por las turbinas generadoras y los sistemas de mallas deben estar diseñados para soportar el máximo valor de generación de voltaje establecido en la hidroeléctrica.

La razón para revisar la resistividad del suelo y resistencia de la malla en verano es por el bajo porcentaje de humedad que existe en la tierra al ser uno de los factores que actúan en la conductividad del suelo provoca el incremento de la resistividad del suelo en proporciones considerables.

Pregunta Número 6.

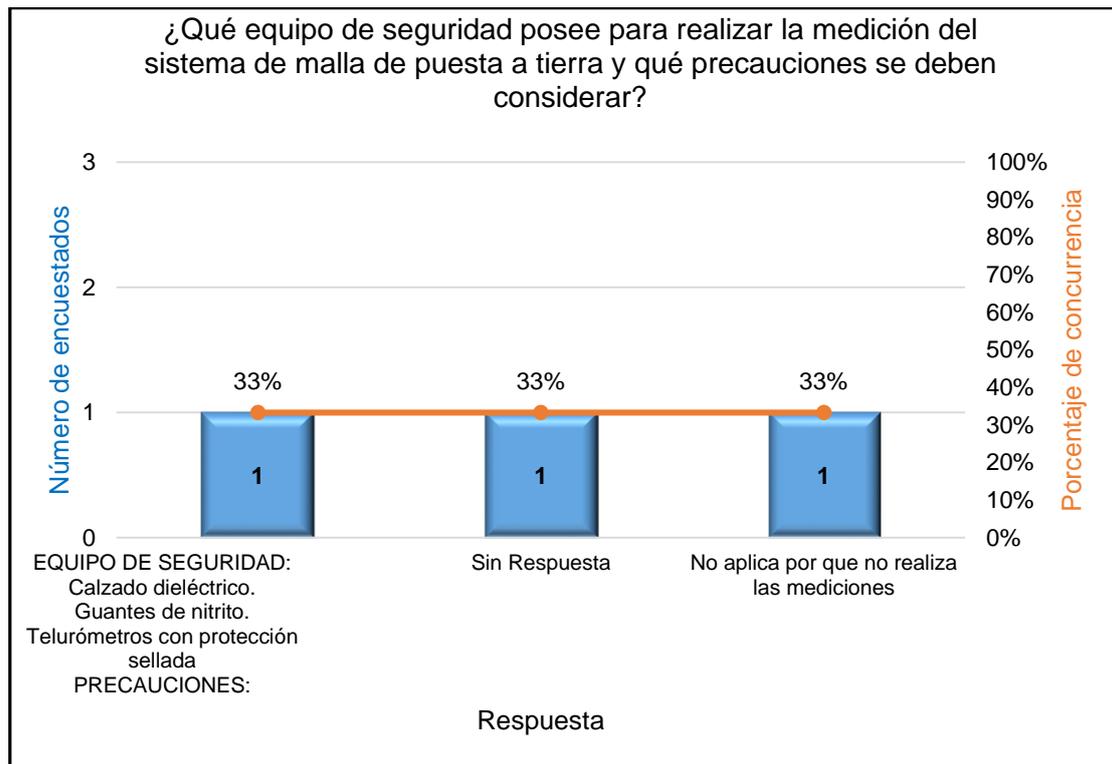


Fig. Nº 37 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

En los diferentes manuales de seguridad indica que para realizar actividades o maniobras con equipos de medio y alto voltaje es necesario ocupar los equipos de protección personal que a continuación se indica.

- Guantes dieléctricos Clase 3 para 26.5 kV
- Sobre guante de carnaza.
- Guante interno de algodón.
- Casco dieléctrico tipo gorra.
- Botas dieléctricas con casquillo.
- Gafas dieléctricas de policarbonato.
- Tarima dieléctrica de 81 x 89 x 5 centímetros.
- Ropa anti flama y riesgo de arco eléctrico.

Las precauciones que se deben considerar al momento de realizar los trabajos en los centros de generación.

- La hidroeléctrica debe ser apagada o detener las turbinas antes de trabajar dentro de esta.
- Poner en práctica las 5 reglas de oro para trabajar sin tensión.

Análisis de Resultados:

Los equipos de seguridad que utiliza la empresa son los adecuados y también las precauciones que ponen en práctica al realizar los trabajos, en el área de seguridad para el personal no se puede escatimar en precios de equipamiento tampoco evadir o saltar los protocolos de seguridad ya que se pone en riesgo la salud humana y en las empresas siempre se prioriza la seguridad ocupacional del personal laboral o empleados.

Pregunta Número 7.

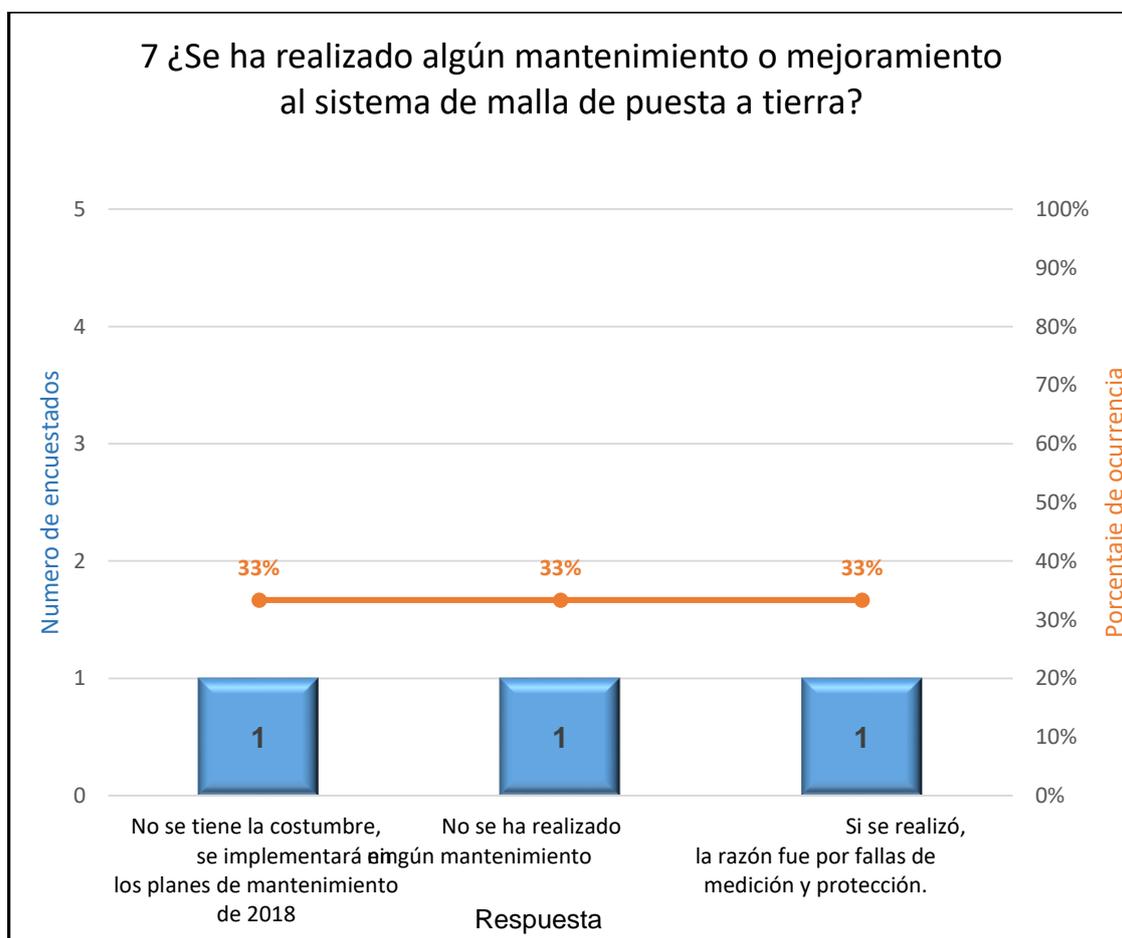


Fig. N° 38 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Las readecuación o expansión de un sistema de mallas de puesta a tierra se realizan al momento de encontrar falencias en la disipación de las corrientes de falla, un indicador o señal es que las protecciones o fusibles se activan al regresar la corriente del piso nuevamente al sistema eléctrico de la subestación. Esto puede ocurrir debido al incremento de la tensión en la subestación o degradación del sistema de puesta a tierra. Para corregir esta falla se debe diseñar la malla con los nuevos valores con los que opera la subestación considerando un factor de incremento anual. Todos estos parámetros ayudaran a diseñar una nueva malla que opere en un rango aceptable y no este sobredimensionada para evitar gastos innecesarios de material de construcción.

Análisis de Resultados:

El mantenimiento que se realiza al sistema de puesta a tierra en los centros de generación es de tipo correctivo es por esta razón que solo se ha realizado un mantenimiento esto debido a la aparición de fallas en la en la disipación de corrientes al piso, provocando daños en los fusibles de protección de los mismos. Para evitar o controlar estos acontecimientos es necesario llevar una inspección y monitoreo regular de todos los elementos que intervienen en el sistema de seguridad como son los sistemas de mallas de puesta a tierra ya que estos permiten el correcto accionamiento de las protecciones en caso de falla.

Pregunta Número 8.

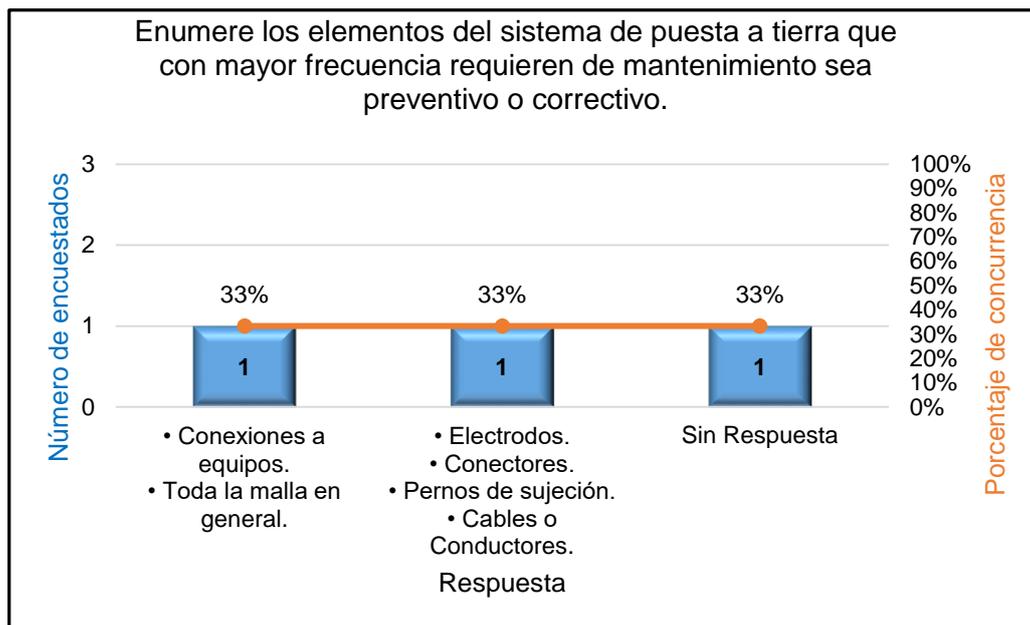


Fig. N° 39 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Los elementos que mayormente se deterioran o dañan con el tiempo son los puntos de conexión entre las bajantes de los equipos y el sistema de mallas de puestas a tierra en este grupo se puede encontrar elementos como conectores de presión o ajustables con abrazaderas, conductores sulfatados u oxidados en si los elementos que están expuestos directamente al ambiente como es el sol y la lluvia y a otros agentes contaminantes que pueden existir en las industrias o fábricas.

Otros elementos que se necesitan de mantenimiento correctivo son las protecciones o fusibles y también los tableros de control, estos casos ocurren cuando el sistema de puesta a tierra está totalmente deteriorado y no puede disipar las corrientes de cortocircuito o de falla.

Análisis de Resultados:

Al comparar las respuestas se observa una considerable similitud de los elementos que más tienden a deteriorarse en los sistemas a puestas a tierra de los centros de generación de Emelnorte, deduciendo así que la información consultada en libros si es la correcta y coincide con las actividades realizadas en el campo ocupacional de mantenimiento realizados

por Emelnorte a sus equipos. Estas actividades son ejecutadas con informes de trabajo en el que se registra todos los elementos que se ha realizado mantenimientos correctivos o preventivos.

Pregunta Número 9.

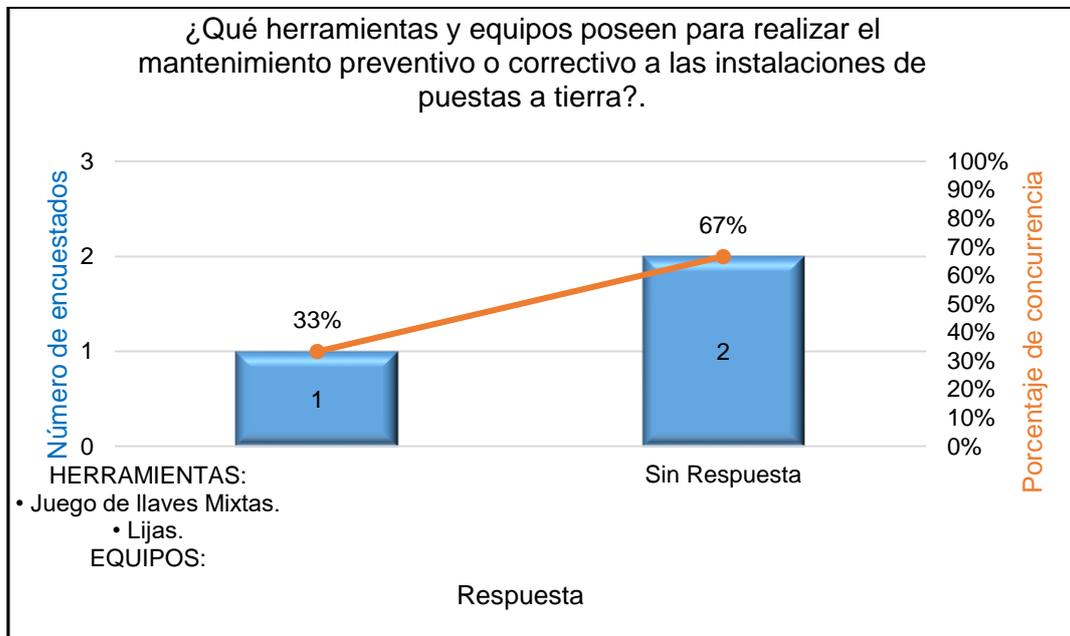


Fig. Nº 40 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
 Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Listado de los equipos y herramientas más utilizados en el área eléctrica, todos estos elementos deben estar cubiertos por un material aislante de electricidad.

- Palanca de operación de Interruptor y cuchilla.
- Desarmadores.
- Llaves tipo española.
- Dados y Matracas.
- Llaves ajustables (inglesa-Pico).
- Pinzas (Presión-Corte-Electricidad-Mecánicas).
- Equipos de medición Eléctrica(Telurómetros-Multímetro-Amperímetro).
- Equipos de excavación(Pala-Pico-Barreta).
- Equipo para limpieza (Cepillo de alambre- Espátula-liquido desoxidante-Trapos de limpieza.)

Análisis de Resultados:

En esta respuesta se deduce que el personal administrativo del área de Centros de Generación desconoce de todos los elementos o herramientas que se ocupan para realizar los trabajos de mantenimiento o corrección de los sistemas de puesta a tierra sin embargo tienen una idea general de las herramientas básicas que se utilizan para realizar trabajos de mantenimientos rutinarios. En todo caso Emelnorte tienen en su registro una gran variedad de herramientas específicas para todos estos trabajos y actividades sean de mantenimiento o construcción esta información se recaudó al realizar una encuesta al personal del área de Distribución de Emelnorte.

Pregunta Número 10.

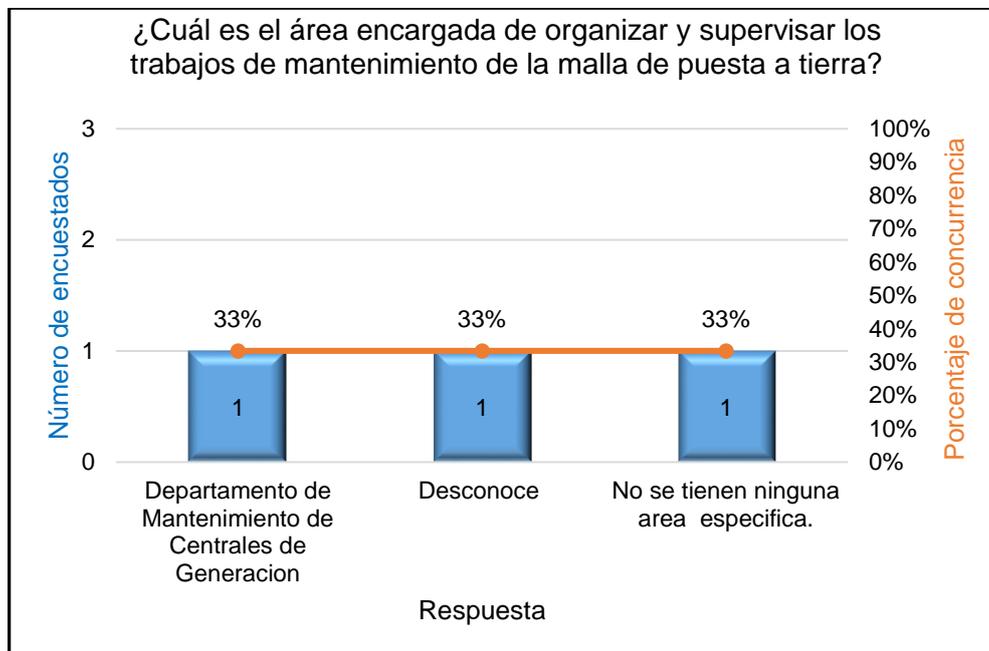


Fig. N° 41 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

En las industrias debe existir un departamento encargado de realizar y designar las actividades de mantenimiento de las máquinas con las que cuenta la empresa esto varía según la dimensión de la fábrica o empresa, en caso de que una empresa sea muy grande se delega un comité que controla conjuntamente con los encargados de cada subdirección realizando trabajos en conjunto con el fin de tener un orden y control de todas las áreas de la empresa. En la mayoría de casos existe el departamento de mantenimiento que posee personal capacitado profesionalmente para corregir los daños que se originen en las

instalaciones y maquinarias de la empresa. estas actividades se ejecutan con la ayuda de informes que presentan los encargados o jefes de cada área o estación de trabajo en caso de que la solución este fuera del alcance del personal de la empresa se procede a contratar personal privado para resolver estos problemas.

Análisis de Resultados:

Emelnorte al tener una variedad de instalaciones eléctricas posee varias áreas encargadas para realizar el control y mantenimiento de las mismas sin embargo la designación de estos trabajos se realiza en coordinación de varias áreas que interviene en un mismo sistema eléctrico, como puede ser Fiscalización, Generación, Distribución, Subestaciones y el Área de Redes Energizadas con esto se logra:

- Eficiencia al momento de ejecutar los trabajos de mantenimiento.
- Programar un mantenimiento unificado en todas las áreas que lo necesiten.
- Recaudar información de todas las áreas que servirá en el caso de detectar una falla a gran escala.
- Programar futuros mantenimientos en los que intervendrán conjuntamente todas las áreas que controlan los sistemas eléctricos de potencia.

Pregunta Número 11.

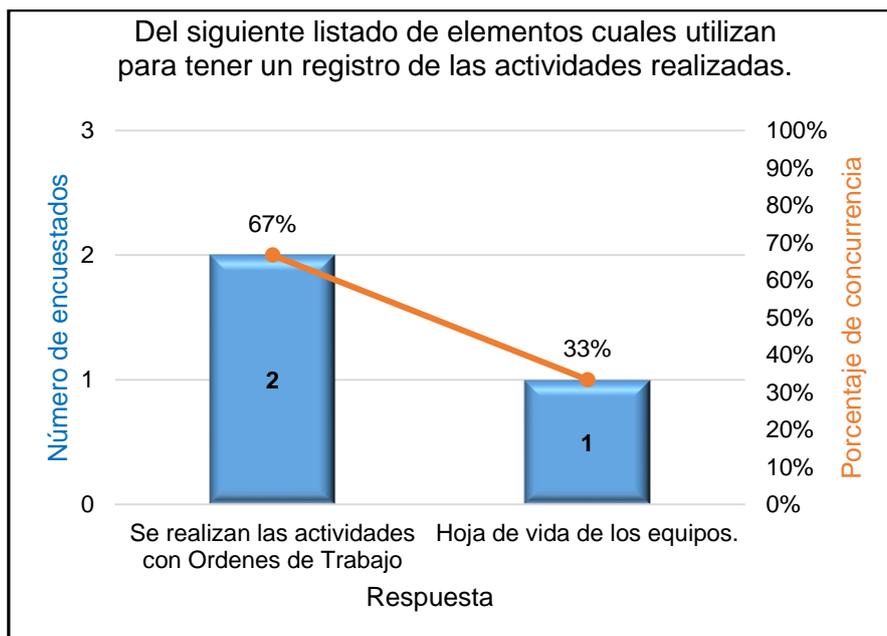


Fig. N° 42 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Para realizar los trabajos de mantenimiento en las instalaciones y maquinarias de la empresa es necesario llevar un registro del mismo con este procedimiento se lleva el control de la vida útil de los elementos o maquinas que posee la empresa y ayudara para realizar futuros mantenimientos en la empresa, para ejecutar este trabajo se recomienda tener los siguientes documentos.

- Formato para diagnostico e inspección de equipos.
- Hoja de vida de los equipos.
- Formatos para reporte de las pruebas.

Análisis de Resultados:

Para tener el control y organización correcta en las actividades de mantenimiento en Emelnorte se realizan ordenes de trabajo, están se ejecutan como permisos o aprobaciones para realizar los trabajos, estas actividades son previamente analizados con el fin de ocasionar el menor impacto al servicio del sistema eléctrico. Estas actividades se realizan conjuntamente con la ayuda de hojas de vida de los equipos con la finalidad de tener en sus registros todas las acciones realizadas a los equipos que servirá como información para futuras reparaciones o mantenimientos preventivos.

2.3 Tabulación y Análisis de los resultados del cuestionario realizado al personal encargado del mantenimiento y construcción de la Dirección de Distribución.

Pregunta Número 1.

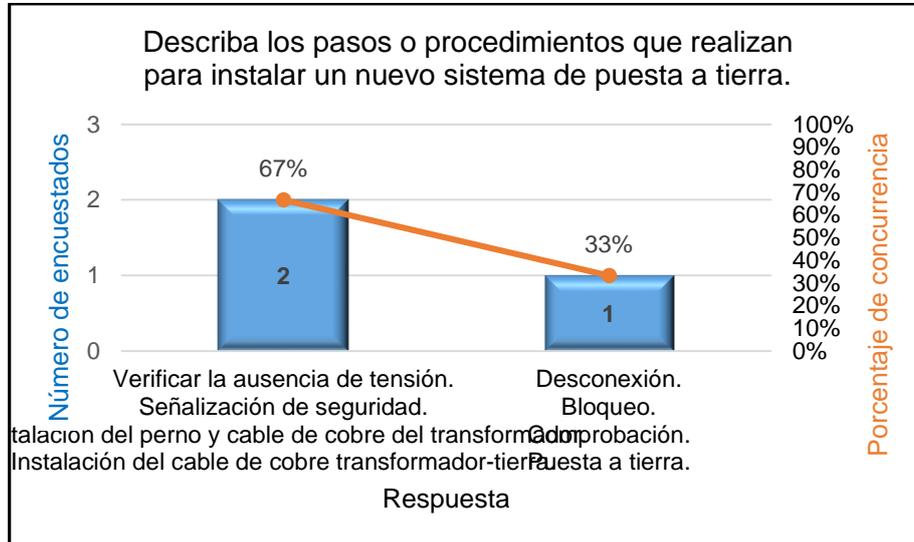


Fig. N° 43 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.

Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Procedimiento para realizar la instalación de un sistema de puestas a tierra en una red de alimentación eléctrica.

- Elaborar una lista de los materiales y equipos a utilizar y revisar la existencia de cada uno.
- Elegir el lugar a instalar el SPT y revisar las características del mismo.
- Realizar la medición y contrastación los valores obtenidos con los de las normas.
- Excavación del pozo (las dimensiones del pozo varían depende del electrodo que se va a instalar para esto se puede consultar en las tablas técnicas de dimensiones de los electrodos.)
- Preparación del pozo (Humedecer con agua, retirar las piedras producto de la excavación.).
- Ubicar el electrodo y rellenar con tierra o productos para mejorar el nivel de conductividad. (bentonita, arcilla, sales minerales, compuestos o mezclas de Gem).

- Conectar los acoples de unión entre la varilla y la bajante de puesta a tierra esta puede ser mediante bornes o suelda exotérmica.
- Aplicar un antioxidante en las uniones para evitar y disminuir la corrosión en el mismo.
- Medir el sistema de puesta a tierra para comprobar si cumple con los valores de las normas establecidas.

Análisis de Resultados:

Realizando una comparación del procedimiento que utiliza el personal de EMELNORTE no hay mucha diferencia y hay similitud al comparar con los procesos publicados en revistas y documentos acerca de cómo realizar una correcta instalación de un sistema a tierra. Existe diferencias mínimas, pero eso se debe a la experiencia que tienen el personal de EMELNORTE ya que la mayoría de los manuales va dirigido a personas principiantes o con poca experiencia en esta área. Pero hay mucha similitud y lógica en los procedimientos y precauciones que se debe tomar en cuenta para realizar este trabajo.

Pregunta Número 2.

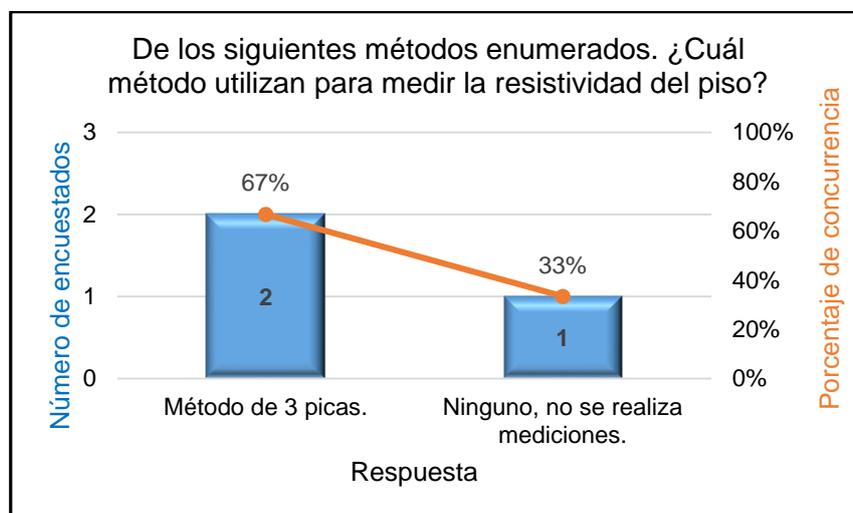


Fig. N° 44 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Los métodos para medir la resistividad del suelo y la resistencia de la malla de tierra dependen de los equipos que se posee la empresa o usuario sin embargo los métodos más utilizados y recomendados por precisión y eficiencia son.

- Método de Wenner 4 polos
- Caída de potencial 3 polos
- Método del 62%.

Análisis de Resultados:

Se puede deducir que en algunos casos no se realiza las mediciones de la resistividad del terreno en la construcción de los sistemas de puesta a tierra de la red de alimentación aérea, pero en el caso de los transformadores del sistema eléctrico si se realizan ya que las normas para la construcción de sistemas de puesta a tierra en las mismas son estrictas la ejecución de estos proyectos va encargado de empresas privadas y no por el personal de Emelnorte, por otro lado, al supervisar y constatar que los valores de resistividad cumplan con las normal al momento de fiscalizar la obra se utilizó el método de tres picas para medir estos valores. Este procedimiento para medir la resistividad del piso es una variante del método de Wenner, dependiendo del equipo que uno posea se puede utilizar el método de 4 picas o de 3 sin importar cual se maneje ambos son confiables siempre y cuando se manipule correctamente los equipos y procedimientos.

Pregunta Número 3.

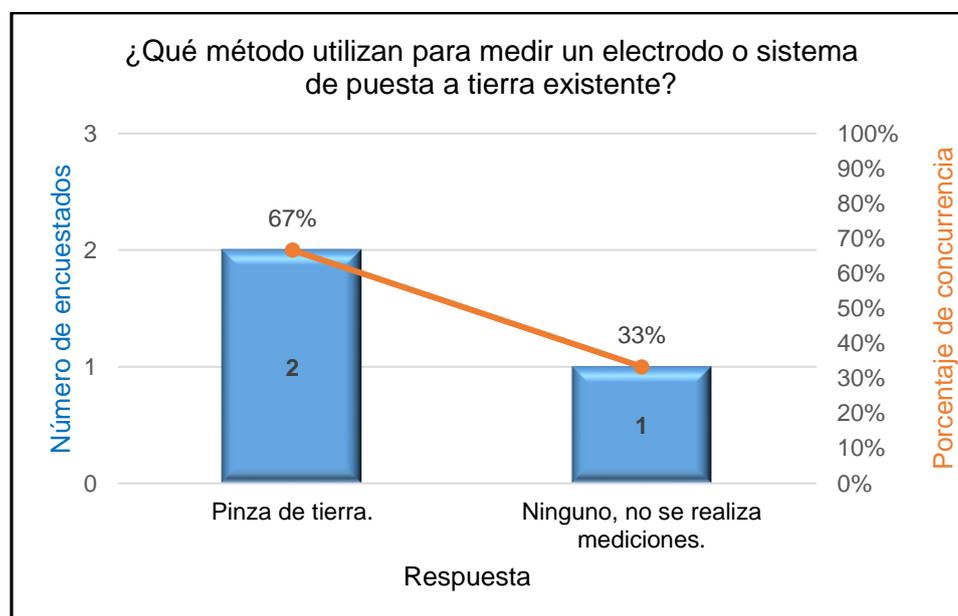


Fig. N° 45 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Los métodos para medir la resistividad del suelo y la resistencia de la malla de tierra dependen de los equipos que se posee la empresa o usuario sin embargo los métodos más utilizados y recomendados por precisión y eficiencia son.

- Método de Wenner 4 polos
- Caída de potencial 3 polos
- Método del 62%.

Análisis de Resultados:

El método de pinza de tierra que utilizan los empleados de EMELNORTE es el más aceptable, por la facilidad en su emplazamiento y confiabilidad permitiendo así una lectura y adquisición de datos rápida y eficiente pero estos trabajos de medición a los sistemas de tierra se realizan solo en caso de falla del sistema, no se realiza una medición periódica como parte de un mantenimiento preventivo. En todo caso la forma en que se lleva esta actividad es lógica y coherente ya que no se puede enfocar todos los trabajos de mantenimiento al sistema de puestas a tierra en la red de distribución.

Pregunta Número 4.

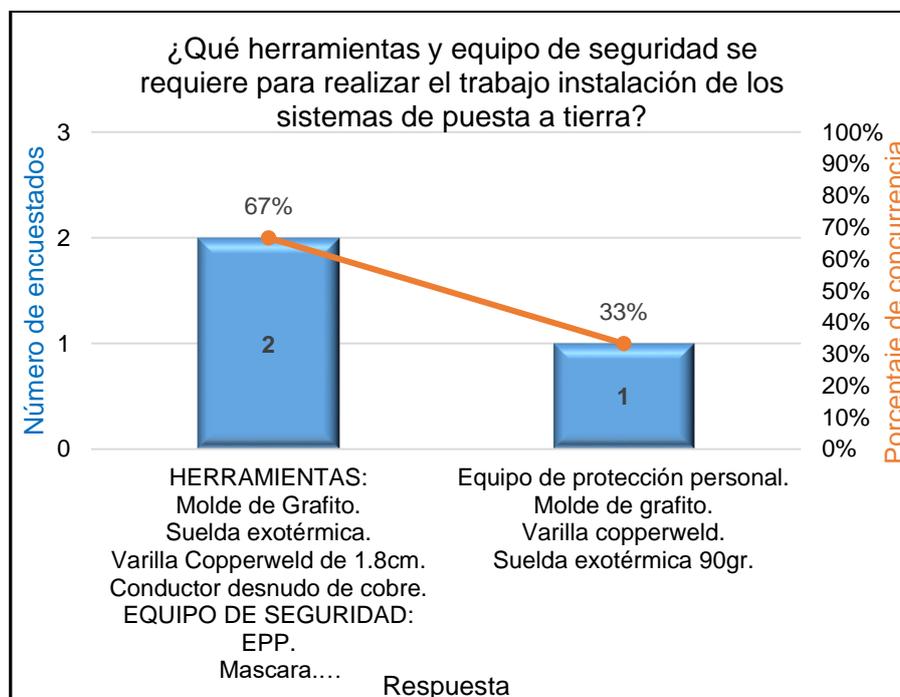


Fig. Nº 46 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Equipo De Seguridad:

- Guantes dieléctricos Clase 3 para 26.5 kV
- Sobre guante de carnaza.
- Guante interno de algodón.
- Casco dieléctrico tipo gorra.
- Botas dieléctricas con casquillo.
- Gafas dieléctricas de policarbonato.
- Tarima dieléctrica de 81 x 89 x 5 centímetros.
- Ropa anti flama y riesgo de arco eléctrico.

Herramientas y Materiales.

- Varilla de acero recubierta de Cu, para puesta a tierra, 16 x 1 800 mm.
- Suelta exotérmica.
- Conector de aleación de Al, compresión tipo "H".
- Cable de Acero recubierto de Cu, desnudo, cableado suave.
- Martillo o combo.
- Pico.
- Pala.
- Juego de llaves.
- Juego de pinzas.

- Juego de desarmadores.

Análisis de Resultados:

Al existir normas de seguridad y reglamentos acerca de los EPP no se puede evadir la utilización de los mismos ya que se expone directamente la salud del usuario, lo más lógico es que los empleados cuiden ellos mismos de su seguridad y salud ocupacional evitando accidentes laborales utilizando estos equipos.

Las herramientas deben cumplir con normas laborales como son aislamiento eléctrico, también se toma en cuenta la variedad de herramientas que poseen esto indica que para cada actividad o trabajo a utilizar poseen la herramienta adecuada así evitando accidente por utilización indebida del material de trabajo.

Pregunta Número 5.

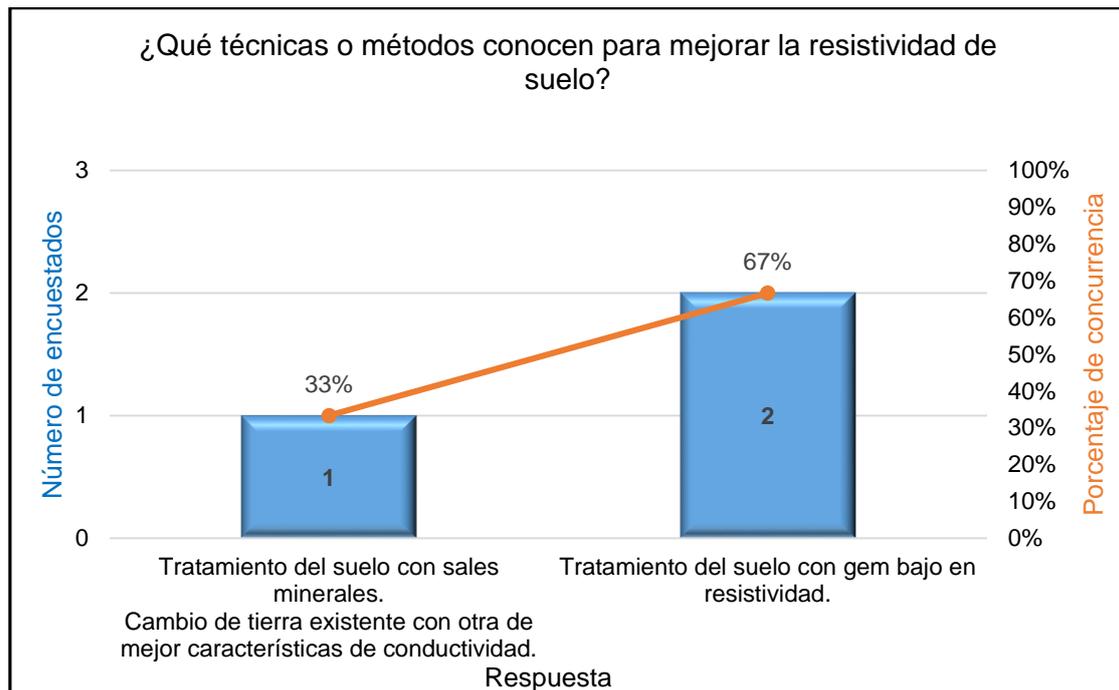


Fig. N° 47 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Existen diferentes métodos que se puede utilizar para mejorar y adecuar la conductividad eléctrica de la tierra para cumplir con los valores establecidos por las normas, para elegir el método adecuado y eficiente hay que tomar en cuenta las características del suelo, composición y cantidad de piedra o roca, la ubicación estratégica del sistema de puesta, una vez realizado el estudio y análisis se puede escoger el método para adecuar la tierra, a continuación, se enumeran los más utilizados:

- Tratamiento del suelo con bentonita o arcilla.
- Tratamiento del suelo con sales minerales.
- Cambio de la tierra existente con otra tierra con mejor características.
- Tratamiento del suelo con Gel bajo en resistividad.
- Colocación directa de un electrodo de tierra física.

Análisis de Resultados:

Los métodos que conoce el personal de Emelnorte para mejorar la conductividad eléctrica del suelo son los más utilizados, estos métodos son aplicados por su simplicidad y

versatilidad para solucionar los problemas de conductividad, también por su bajo costo económico al realizarlo, sin embargo, existen muchos métodos que se utilizan dependiendo el ambiente de trabajo y dificultad del terreno, estos se puede dar a conocer en un manual para tener otra opción favorable para dar solución al momento de existir nuevos problemas o dificultades en la readecuación del terreno para construir una malla de puesta a tierra.

Pregunta Número 6.

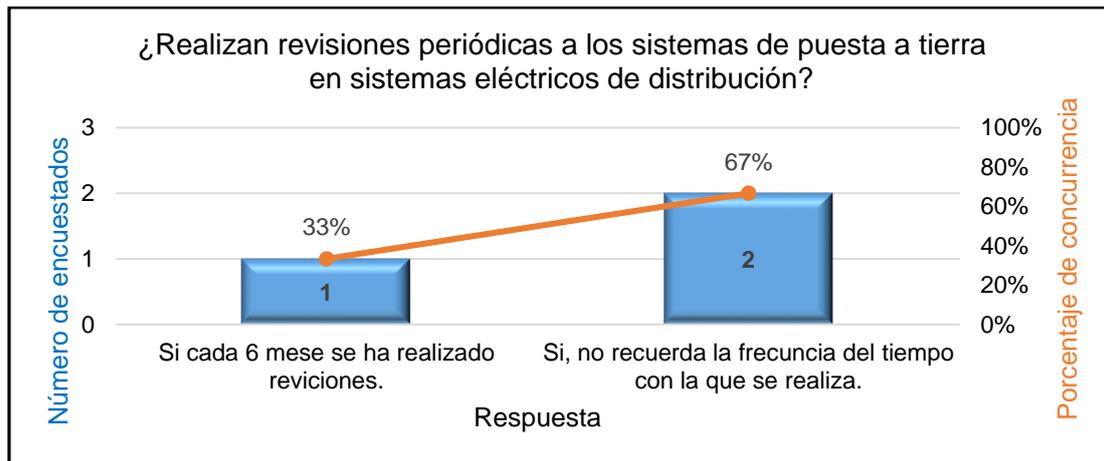


Fig. Nº 48 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

No existe planes de mantenimiento designado específicamente a los sistemas de puesta a tierra, pero si existe planes de mantenimiento dirigidos a las líneas de alta y media tensión de transmisión o alimentación al ser el STP parte de las líneas de redes de distribución este se incluye en el plan de mantenimiento se puede realizar cada 6 meses o 1 vez al año. Para elaborar un plan de mantenimiento y el periodo de frecuencia con el que se lo realizara hay que considerar lo siguiente:

- Las frecuencias para realizar las labores de mantenimiento correctivo de redes eléctricas de distribución se originan en los resultados y verificaciones del mantenimiento preventivo, ya que las causas del deterioro de las redes son variadas y atienden a variables como lluvias, tormentas, aumento de la carga no prevista, calidad de los materiales, vandalismo y robo de elementos y equipos (cables y puestas a tierra).
- De ahí que el mantenimiento correctivo atiende las necesidades diarias del sistema reportadas por el departamento de daños de la empresa para lo cual se requiere de grupos de trabajo disponibles a toda hora para atender estos daños.

Análisis de Resultados:

Al realizar un programa de mantenimiento preventivo o correctivo cada 6 meses el procedimiento de mantenimiento está dentro de los periodos de tiempo aceptable, un punto a considerar y analizar sería si existe índice de repetición de los elementos afectados, con la finalidad de encontrar el origen que provoca la falla y así solucionar el problema definitivamente.

Pregunta Número 7.

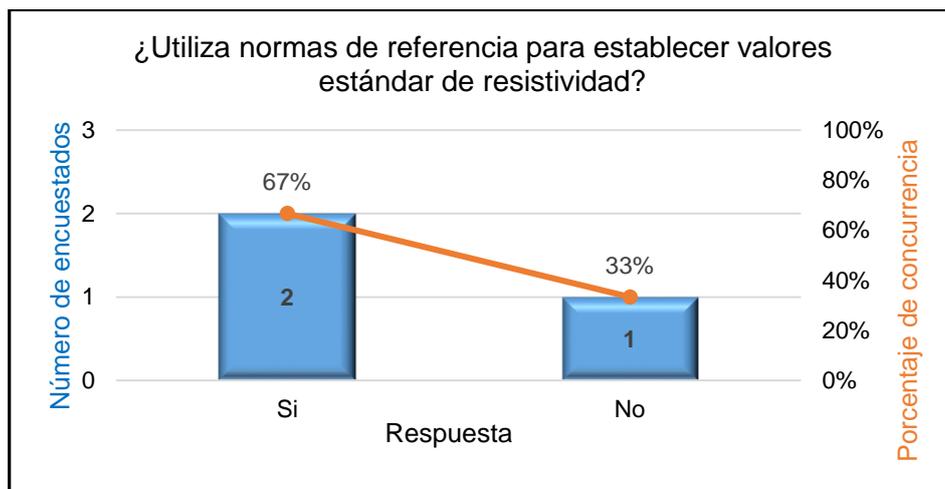


Fig. N° 49 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

Existen normas internacionales que regulan los sistemas de puesta a tierra como son:

- IEE80-2000.
- IEE81-2012.
- IEEE 142-1991

Existe también un documento nacional que regula la construcción de sistemas de puestas a tierra.

- NEC.

Análisis de Resultados:

Con los resultados de las encuestas se observa que los valores de resistividad que se utilizan para realizar la comparación con los valores adquiridos en la mediación del suelo son los correctos, pero en algunos casos no se conoce el origen o documentación de ellos como sería las NORMAS IEE, NEC.

Con un documento de apoyo con información acerca de las normas de puesta a tierra se puede complementar la información conocimiento para los empleados de Emelnorte.

Pregunta Número 8.

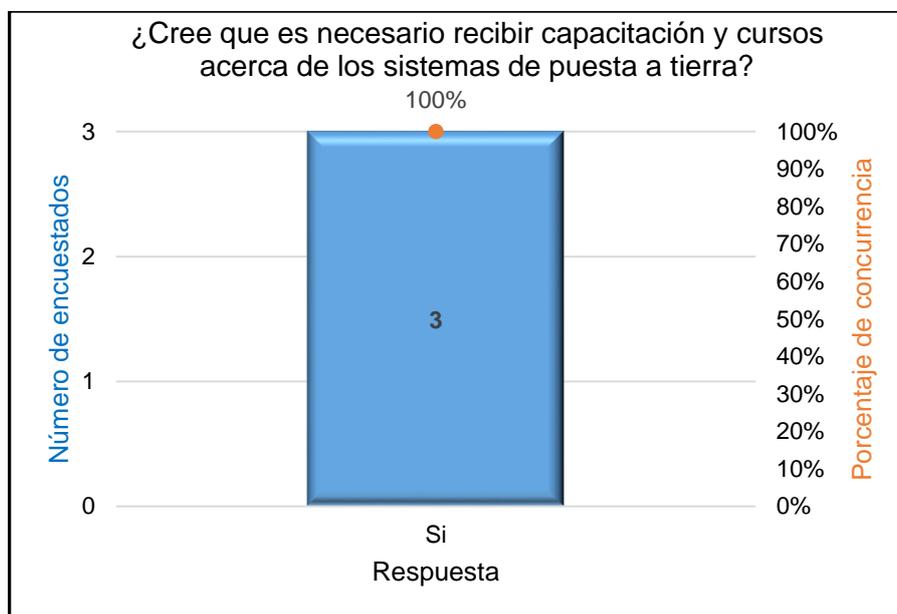


Fig. N° 50 Cuadro estadístico de las respuestas obtenidas en el cuestionario.
Fuente: Autor

Información obtenida de normas, manuales de seguridad, reportes de mantenimientos preventivos y correctivos.

No existe una norma o ley que indique cada qué tiempo debe realizarse cursos de capacitación en el año, sin embargo, existen varios indicadores o aspectos a considerar para realizar un curso:

- El comienzo de algo nuevo.
- La formación inicial de personal.
- La formación continua en el trabajo de personal.
- La demostración de un concepto nuevo.

Análisis de Resultados:

Realizando un análisis en base a las respuestas de la encuesta realizada, se puede deducir que existe algunas falencias, pero no muy significativas al momento de realizar las labores, sin embargo, en este caso es necesario reforzar el conocimiento con un curso de capacitación teórico esto ayudara a concientizar y mejorar las acciones y precauciones al desarrollar las actividades en el campo de sistemas de puestas a tierra.

CAPÍTULO III

3. Medición y análisis de los sistemas de puesta a tierra del sistema eléctrico de Emelnorte.

Para realizar un análisis del estado actual de los sistemas de puesta a tierra en este capítulo se realizó la medición de los sistemas de puesta a tierra en 3 diferentes sistemas eléctricos, para diagnosticar si necesita de mantenimiento para mejorar los valores de resistencia del sistema de puesta a tierra.

3.1 Medición de un sistema de puesta a tierra instalado en el alimentador M2 de la subestación Alpachaca.

El primer elemento a medir es un sistema de puesta a tierra instalado en un transformador de sistemas eléctricos de redes aéreas, siendo así este sistema de puesta a tierra con mayores unidades existentes en el sistema eléctrico de Emelnorte.

3.1.1 Ubicación y componentes del sistema de puesta a tierra.

El sistema de puesta a tierra seleccionado para la medición se encuentra ubicado en el Sector de Bellavista tras la Hostería Agustín Delgado, Parroquia San Antonio, Catón Ibarra, como se muestra en la imagen N°51, este sistema de puesta a tierra se encuentra conectado a un centro de transformación aérea en que se alimenta de la línea trifásica M2 de la subestación Alpachaca.

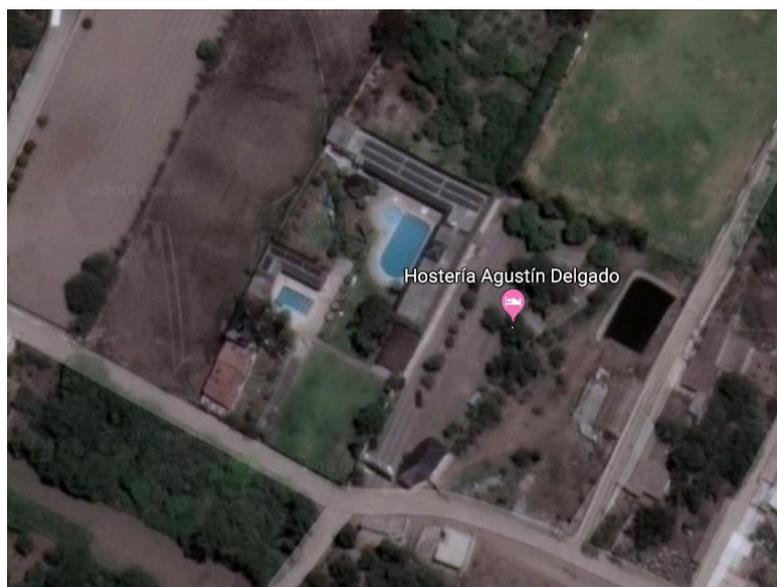


Fig. N° 51. Mapa del lugar de medición.
Fuente: Google maps.

Componentes del sistema de puesta a tierra.

En el sistema del eléctrico de Emelnorte existen varios tipos de centros de transformación aérea o transformadores ubicados en el piso (Padmounted) estos sistemas tienen diferentes elementos para la instalación y se clasifica mediante códigos para tener un registro en la base de datos de Emelnorte a continuación se describe los elementos que componen en el sistema eléctrico seleccionado para realizar las mediciones.

- Transformador: Trifásico de 150kv de marca Inatra con código M2T5127.
- Postes: Elaborados con hormigón reforzado de 12m de altura con código M2P5735, M2P5736.
- Sistema de puesta a tierra: Compuesto por con cuatro varillas copperweld, conductor de Cu desnudo N° 2 AWG y suelda exotérmica.

En la imagen N°52 se puede constatar los elementos descritos que componen el sistema eléctrico en el que está ubicado el sistema de puesta a tierra.



Fig. N° 52. Centro de transformación Aéreo.
Fuente: Emelnorte

3.1.2 Equipos y procedimiento utilizados para realizar la medición del sistema de puesta a tierra.

Equipo utilizado en la medición.

El telurómetro que posee Emelnorte para realizar las mediciones es de marca Fluke de la serie 1623 es uno de los equipos más completos que existe ya que tiene varias componentes para realizar las mediciones como son las pinzas y también las picas, gracias

a estos dos elementos se puede realizar los diferentes métodos o formas para realizar las mediciones que a continuación se enumeran:

- Caída de potencial de 3 y 4 hilos (usando picas).
- Comprobación de resistividad del terreno de 4 hilos (usando picas).
- Comprobación selectiva (usando 1 pinza y picas).
- Comprobación sin picas (usando solo 2 pinzas).

Método utilizado en la medición del sistema de puesta a tierra.

Para realizar la medición de este sistema de puesta tierra se ha seleccionado el método de caída de potencial con 3 picas, este método es el más conocido y utilizado por la facilidad y efectividad al momento de realizar el procedimiento de medición, ya que este método permite buscar un punto de estabilidad al momento de realizar las medidas permitiendo tener así varias lecturas para realizar un promedio de las misma y así obtener un valor de lectura lo más cercano al real.

Procedimiento utilizado en la medición del sistema de puesta a tierra.

El procedimiento realizado es muy simple ya que el sistema de puesta tierra a medir no es muy complejo, los pasos utilizados para medir se describen a continuación:

- Primero se encontró el lugar en donde se encuentra el sistema de puesta a tierra y se observó la topología geográfica del sitio para determinar las rutas y posiciones en las que se ubicaran las picas.
- Una vez determinadas las rutas o direcciones en las que se ubicara las picas se precedió con los cálculos los valores de las distancias entre las picas para medir y marcar los sitios en los que se ubicaran las picas.
- A continuación, se enterró las picas en las distancias seleccionadas que se observa en la tabla:

TABLA 3.8

Valores designados para las picas del telurómetro.

Distancias entre Electrodo	
Distancia P1 (m)	Distancia P2 (m)
18	30
18	30

Fuente: Autor.

- Después de verificar la correcta ubicación de las picas se conectó las puntas de los cables con las picas y luego se conectó los cables a las entradas del telurómetro.
- Como la medición era con fines didácticos se realizó 3 tipos de medidas en las que se midió el sistema de puesta a tierra conectado con la bajante del transformador, la segunda se realizó con la bajante desconectada del sistema de puesta a tierra y a tercera se realizó la medición después de haber vertido agua alrededor de la varilla de puesta a tierra.
- Posteriormente se tomó registro de todas las medidas realizadas en la hoja de informe que poseen el personal de Emelnorte.
- Finalmente se reconectó el sistema de puesta a tierra se guardó el equipo de medición para finalizar el procedimiento de medición.

3.1.3 Descripción y análisis de los resultados obtenidos en la medición.

Valores obtenidos en la medición.

Después de realizarse las mediciones con los tres casos diferentes del estado del sistema de puesta a tierra se obtuvo los siguientes resultados.

Primera medición:

Se la realizó con el sistema de puesta a tierra conectado con la bajante de aterramiento del transformador, este tipo de medición no es recomendable ya que los componentes metálicos del transformador y energización del mismo alteran los valores de resistencia del sistema sin embargo de manera didáctica se realizó esta medición para verificar que porcentaje altera la medida, el valor obtenido en la medición es de 36.1Ω esto se puede comprobar en la figura N°53 en la que se visualiza pantalla del telurómetro arrojando en la pantalla la medida.



Fig. N° 53. Medición del sistema de puesta a tierra conectado con la bajante de tierra del transformador.
Fuente: Emelnorte

La razón de que el valor de resistencia este alto es debido a que el sistema de puesta a tierra está conectado al transformador por medio de la bajante para aterrarse, la integración de estos dos sistemas en un solo conjunto aumento el valor de resistividad ya que se está midiendo con todos sus componentes metálicos que tiene el transformador, en este caso el valor de resistencia se incrementó, en otros casos decrece o disminuye del valor real de la resistencia que se mide, es por esta razón que el sistema de puesta a tierra que se va a realizar las mediciones debe estar totalmente desconectado del sistema eléctrico para así realizar los estudios de medición solo en el sistema de puesta a tierra.

Segunda medición:

Se realizó desconectado el sistema de puesta a tierra de la bajante o cable de aterramiento esta medida es la correcta y con la que se debe realizar los análisis y comparaciones con los valores establecidos en la normas que regularizan estos sistemas eléctricos, el valor que se obtuvo de la medición con el telurómetro es de 27Ω , se realizó dos veces esta medición, pero con diferente trayectoria para examinar la uniformidad del suelo y el resultado fue el mismo 27Ω , en la figura N°54 se puede apreciar el valor en ohmios de la medición del sistema de puesta a tierra.



Fig. N° 54. Medición del sistema de puesta a tierra desconectado la bajante de tierra del transformador.
Fuente: Emelnorte

Debido a que el ambiente era caluroso y en época de verano el terreno estaba en condiciones secas, provocando que los valores de resistividad del suelo incrementen, esto se comprobó al momento de realizar esta medición el valor no cumplía con el establecido en la norma IEEE Std 80-2000 para sistemas de puesta a tierra en líneas aéreas que recomienda un valor igual o menor a 25Ω , pero al ser una diferencia no muy elevada se decidió no tomar acciones de corrección en este sistema, sabiendo que el resto del año en climas normales la resistividad del suelo disminuirá por la humectación del suelo producto de la lluvias de invierno.

Tercera medición:

En esta práctica se vertió una cubeta con agua para ver como la humedad del piso disminuía la resistividad del suelo se observa así la relación directa que existente de la resistividad del suelo con el sistema de puesta a tierra, las mediciones obtenidas en esta práctica son de 24.6Ω y 24.9Ω ya que se realizó dos mediciones con diferentes direcciones de las picas, pero con la misma distancia entre ellas, en la figura N°55 se pude apreciar los valores obtenidos en la medición.



Fig. N° 55. Medición del sistema de puesta a tierra con el suelo húmedo.
Fuente: Emelnorte

Como se puede observar el sistema de puesta a tierra redujo su valor de resistencia al momento de derramar agua en el suelo, esto debido al incremento de la humedad que ayuda a la disipación y conductividad de la corriente por el piso, con esto se comprobó y constató que la resistencia del sistema de puesta a tierra disminuirá en mayor cantidad al momento de que el suelo incremente su humedad por las lluvias.

3.1.4 Elaboración del informe acerca del estado funcional del sistema de puesta a tierra que se realizó la medición.

Para tener un base de datos con la información acerca del estado de funcionamiento de los sistemas de puesta a tierra se realiza un informe en el que debe constar los valores de las lecturas, el estado físico del sistema de puesta a tierra y los trabajos que se realizarán en caso de que exista algún daño o anomalía en el sistema de puesta a tierra.

En la imagen N°56 se muestra y se describe la hoja de formato de informe que presentan los trabajadores encargados de realizar esta actividad de medición y fiscalización a los sistemas eléctricos de puesta a tierra de Emelnorte.

**PROTOCOLO DE
MEDIDA DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA**

A.- Identificación de la Instalación

Proyecto: EXTENSIÓN DE RED Y MONTAJE DE TRANSFORMADOR PARA ELECTRIFICAR LA CANTERA PROPIEDAD DEL SR. AGUSTÍN DELGADO.

Ubicación: Sector de Bellavista tras la Hostería Agustín Delgado, Parroquia San Antonio, Catón Ibarra. **Cantón:** Ibarra

Fecha: 02-agosto-2018 **Hora:** 08H00

Características del terreno: duro, seco

Condiciones climáticas: soleado, despejado

Equipo Utilizado: FLUKE EARTH / GROUND TESTER GEO

Realizado por: ING. JHONY CANDO

B.- Esquema de medición

Ubicación eje de medida: Se realizó la medición de puesta a tierra, donde la primera pica se la colocó a 18 m y la segunda pica a 30 m en línea recta a la varilla copperweld, dando como resultado 24,50 Ω.

C.- Resultados

Electrodos				Pinza	
Número medida	Distancia P1 (m)	Distancia P2 (m)	Resistencia (Ohms)	Número medida	Resistencia (Ohms)
1	18	30	24,50	1	
2	18	30	24,50	2	

Comentarios: El sistema de puesta a tierra es con cuatro varillas copperweld, conductor de Cu desnudo N° 2 AWG y suelda exotérmica.

D.- Conclusión

Valor de resistencia de puesta a tierra: 24,50 Ohms

Criterio empleado: Cumple con el parámetro exigido en la norma menor a 25 ohmios.

Fig. N° 56. Hoja técnica para informe de prácticas de medición de puestas a tierra.
Fuente: Emelnorte

A continuación, se describe los elementos más importantes que constan en el informe de actividades y resultados de la medición.

- En la sección 1 se describe el lugar y el tipo de sistema eléctrico en el cual se realiza las mediciones para verificar que este sistema cumpla con los valores de funcionamiento por las normas.
- En la sección 2 se especifica la composición del terreno ya que este factor interviene directamente en el valor de la resistencia, este valor nos servirá de guía o referencia para el análisis de la medición y soluciones en caso que exista alguna anomalía en el funcionamiento del sistema de puesta a tierra.
- En la sección 3 se indica el elemento con el que se realizó la medición en este caso un telurómetro marca Fluke.
- En la sección 4 se describe las distancias utilizadas en la medición, cabe reiterar que existen rangos o límites de distancias tolerables para realizar la medición para que la práctica no esté mal realizada por no cumplir con estos rangos de distancias sugeridas en el método utilizado (caída de potencial).
- En la sección 5 se indica el valor obtenido en la medición para así llevar un registro de estos valores, dependiendo el valor obtenido se presenta las acciones a realizar para corregir en el caso que no cumpliera con los valores establecidos en la norma.
- En la sección 6 se describe un diagnóstico en este caso se aprueba el sistema de puesta a tierra, ya que el valor de lectura es menor a 25Ω que sugiere la norma para sistemas de puesta a tierra en líneas eléctricas aéreas de media tensión, en el caso de que el valor de medición no cumpla con lo establecido se deberá realizar actividades de corrección para mejorar el sistema de puesta a tierra y disminuir el valor de resistencia.

Análisis de los valores obtenidos en la medición del sistema de puesta a tierra.

TABLA 3.9

Sistema de puesta a tierra de un transformador	
N° de Medición	Valor obtenido en la Medición (Ω)
1	36,1Ω
2	27Ω
3	24,8Ω

Fuente: Autor

Viendo las muestras de valores obtenidas en la medición se puede deducir que el valor registrado en la tercera medición (24.8 Ω) es el adecuado ya que para realizar esta

medición se cumplió con todas las reglas establecidas en el proceso de medición como es desconectar el sistema de puesta a tierra, con este valor se comprobó que el sistema de puesta a tierra está en el rango de aceptación y cumple con los valores que exige la norma para sistemas de puesta a tierra que indica que el valor de la resistencia debe ser igual o menor a 25Ω .

3.2 Medición de un sistema de mallas puesta a tierra instalado en la subestación El Rosal

Para comprobar que la resistencia del de la malla de puesta a tierra cumpla con los valores de funcionamiento indicados en la Norma IEEE Std 80-2000 se realizó la medición de esta malla con el grupo de fiscalización de Emelnorte.

3.2.1 Ubicación y componentes del sistema de puesta a tierra.

La subestación el Rosal se encuentra ubicada en la Provincia del Carchi, en el Cantón Tulcán, a una distancia de 4Km al noroeste, desde el redondel de la entrada sur a la ciudad, hacia Rumichaca, por la Carretera Panamericana. La subestación está alimentada a nivel de 69 kV desde la subestación Tulcán de Emelnorte a nivel de 34.5 kv desde la central San Miguel de Car.

En la actualidad se está ejecutando la construcción de una nueva subestación adyacente a la misma considerando el aumento de la carga en la zona de Tulcán y la implementación del Plan de cocinas de Inducción. El área en de construcción de la obra es aproximadamente de $1450.00m^2$ en el que se instalara un transformador de 25 MVA que se alimentara de la red de voltaje primario de 69 kV y un voltaje de salida de 13.8kV.

Componentes del sistema de malla de puesta a tierra.

Para este sistema se ha designado la construcción de un sistema de malla de puesta a tierra con las medidas de 46m x40m conformado por un conductor de cobre desnudo de calibre 4/0 AWG con un espaciamiento de 5m entre celdas a lo largo y ancho que conforma la malla y conformada por 6 varillas copperweld de 2.4m de longitud.

3.2.2 Equipos y procedimiento utilizados para realizar la medición del sistema de puesta a tierra.

Equipo utilizado en la medición.

El telurómetro que posee Emelnorte para realizarlas mediciones es de marca Fluke de la serie 1623 es uno de los equipos más completos que existe ya que tiene varias componentes para realizar las mediciones como son las pinzas y también las picas, gracias a estos dos elementos se puede realizar los diferentes métodos o formas para realizar las mediciones que a continuación se enumeran:

- Caída de potencial de 3 y 4 hilos (usando picas).
- Comprobación de resistividad del terreno de 4 hilos (usando picas).
- Comprobación selectiva (usando 1 pinza y picas).
- Comprobación sin picas (usando solo 2 pinzas).

Método utilizado en la medición del sistema de puesta a tierra.

Para realizar la medición de este sistema de puesta tierra se ha seleccionado el método de caída de potencial con 3 picas, este método es el más conocido y utilizado por la facilidad y efectividad al momento de realizar el procedimiento de medición, ya que este método permite buscar un punto de estabilidad del valor de la resistencia mediante varias lecturas, realizando así un análisis gráfico de la curva del comportamiento de los valores de la resistencia.

Procedimiento utilizado en la medición del sistema de puesta a tierra.

Para realizar la medición del sistema de mallas de puesta a tierra de la nueva subestación El Rosal se emplearon los siguientes pasos.

- Primero se realizó un análisis visual de todo el sistema que conforma la subestación para ubicar el mejor punto de conexión de la malla, ya que existen 17 punto de conexión de la malla para las bajantes de los componentes de la subestación como se observa en la figura N° 57.



Fig. N° 57. Subestación en construcción.
Fuente: Autor.

- Determinamos la mejor ruta para realizar la extensión del cableado del equipo de medición (telurómetro), para esta medición se extenderá los cables en dirección Sur-Norte partiendo desde la esquina norte del cerramiento de la subestación como se muestra en la imagen N° 58.



Fig. N° 58. Ruta elegida para realizar la medición de la malla de puesta a tierra.
Fuente: Autor.

- Una vez determinada la mejor se procedió a medir la distancia total que se extenderá los cables del telurómetro para esta medición se definió la distancia del electrodo P2 es de 175m y para el segundo electrodo se realizó varias mediciones empezado en 170m para retroceder 5 metros para cada medición hasta llegar a una distancia final de 5m tomando como referencia el punto del electro de tierra a medir, para esto se realizó una señalización cada 5 metros como se indica en la figura N° 59.



Fig. N° 59. Medición y marcación de las distancias para enterrar las picas del telurómetro.
Fuente: Autor

- Una vez señalado las rutas de medición se tendió los cables que van conectados al telurómetro como son el cable de la puesta a tierra y los que van a las puntas de voltaje y corriente.
- Después de verificar la configuración correcta de los cables se conectaron estos a las entradas del telurómetro para comprobar la continuidad de los mismo como se muestra en la figura N° 60 y así continuar con la medición.



Fig. N° 60. Conexión y comprobación de continuidad de los cables del telurómetro.
Fuente: Autor.

- Se realizó las mediciones en la que el electrodo variable de voltaje o P1 se retrocedía cada 5 metros iniciando en 170 hasta culminar en 5 metros de distancia al electrodo inicial de tierra, a continuación, en la imagen N° 61 se indica algunos de valores obtenidos en la medición.



Fig. Nº 61. Valores obtenidos en la medición.
Fuente: Autor

- Finalmente se realizó el registro de todos los valores obtenidos en las mediciones, luego se guardó todo el equipo de medición terminar con el procedimiento de medición del sistema de malla puesta a tierra y realizar un informe del mismo.

3.2.3 Elaboración del informe acerca del estado funcional del sistema de puesta a tierra.

Para tener un base de datos con la información acerca del estado de funcionamiento de los sistemas de puesta a tierra se realiza un informe en el que debe constar los valores de las lecturas, el estado físico del sistema de puesta tierra y los trabajos que se realizarán en caso de que exista algún daño o anomalía en el sistema de puesta a tierra. A continuación, se presenta una hoja de informe en la que se muestra algunos aspectos realizados en la medición.

Tabla 3.10

Hoja para informes de mediciones de sistemas de puesta a tierra.

1					
Institución o Empresa	EMELNORTE S.A.	Objetivo de la Medición	Fiscalizar valor de la resistencia de la malla de la nueva subestación El Rosal		
Fecha	31/01/2019	Estado del Terreno	Húmedo		
Dirección	Provincia del Carchi, en el Cantón Tulcán, a una distancia de 4Km al noroeste, desde el redondel de la entrada sur a la ciudad.				
Instalación	Malla de puesta a tierra de una subestación	Temperatura Ambiente	20° Centígrados		
2					
Características del Instrumento Utilizado					
Telurómetro Marca	Telurómetro Fluke serie 1623	Frecuencia	105Hz		
Método de Medición	Caída de potencial o método del 62%.	Precisión	±2%		
3					
Valores a registrar para realizar la Medición.					
Dirección o Trayectoria de Medición 1	Sur-Norte	Distancia de los Electrodo.	E-C =175m	P-C=170m	
Dirección o Trayectoria de Medición 2		Distancia de los Electrodo.			
Dirección o Trayectoria de Medición 3		Distancia de los Electrodo.			
Dirección o Trayectoria de Medición 4		Distancia de los Electrodo.			
4					
Valores obtenidos de las Mediciones del terreno.					
Resistencia 1	0,613	Resistividad Equivalente de suelo Ω.m	0,6365	El valor establecido en la norma IEE Std 80-2000 para subestaciones es de 1Ω.	
Resistencia 2	0,625	Los valores de resistencia ingresados en estas fichas son los que están ubicados en el área de mayor estabilidad de la curva.			
Resistencia 3	0,649				
Resistencia 4	0,659				
4			5		
Comentarios acerca de la practica			Análisis de Resultado		
Se realizó la medición en una sola dirección Sur-Norte, pero el procedimiento de medición se la realizo varias veces empezando en 170m luego descendiendo cada 5m hasta llegar a 5m de distancia entre el electro de tierra y el electrodo auxiliar que inyecta voltaje para tener diferentes valores con la finalidad de dibujar la curva de estabilidad del valor de la resistencia como sugiere el método de 68%, para tener el valor promedio y así tener un valor de medición exacta.			El valor de la resistencia del suelo es homogéneo debido a la uniformidad de la resistividad del suelo, el valor de resistencia de la malla no vario mucho en sus diferentes mediciones.		
6			7		
Recomendaciones			Personal que intervino en las mediciones.		
Ninguna ya que el valor de resistencia de la malla cumple con los estándares de construcción.			Responsable de la Medición.	Ing. Washington Farinango	
			Supervisor y Fiscalizador de la Medición		

Fuente: Autor.

Análisis de los valores obtenidos en la medición del sistema de puesta a tierra.

Para tener un valor exacto de la malla de puesta a tierra de la subestación se utilizó el método de caída de potencia para esto realizamos diferentes medidas para tener un cuadro de valores con el que se realizara el análisis gráfico observando la curva que se elabora a partir de los valores registrados en la medición.

En la tabla N° 3.9 se observa los valores obtenidos en la medición de la malla de puesta a tierra en la Subestación El Rosal.

Tabla 3.11

Valores obtenidos en la medición de la malla de puesta a tierra en la Subestación El Rosal.

N° de Medición.	Distancias del Electrodo P1 (m).	Distancias del Electrodo P2 (m).	Valor resistividad (Ω).
1	5	175	0,383
2	10	175	0,395
3	15	175	0,407
4	20	175	0,418
5	25	175	0,432
6	30	175	0,437
7	35	175	0,439
8	40	175	0,445
9	45	175	0,455
10	50	175	0,475
11	55	175	0,481
12	60	175	0,49
13	65	175	0,489
14	70	175	0,505
15	75	175	0,518
16	80	175	0,525
17	85	175	0,534
18	90	175	0,544
19	95	175	0,556
20	100	175	0,57
21	105	175	0,582
22	110	175	0,599
23	115	175	0,613
24	120	175	0,625
25	125	175	0,649
26	130	175	0,659
27	135	175	0,684
28	140	175	0,702
29	145	175	0,74
30	150	175	0,777
31	155	175	0,813
32	160	175	0,876
33	165	175	1
34	170	175	1,55

Fuente: Autor.

Con los valores de la tabla 3.9 se realiza la gráfica de la curva como indica el método de caída de tensión de esta curva se obtiene el valor real de la resistencia ubicando el punto de estabilidad de la curva. En la gráfica N°62 se puede visualizar la curva y el punto de equilibrio o estabilidad de los valores de resistencia de la malla.

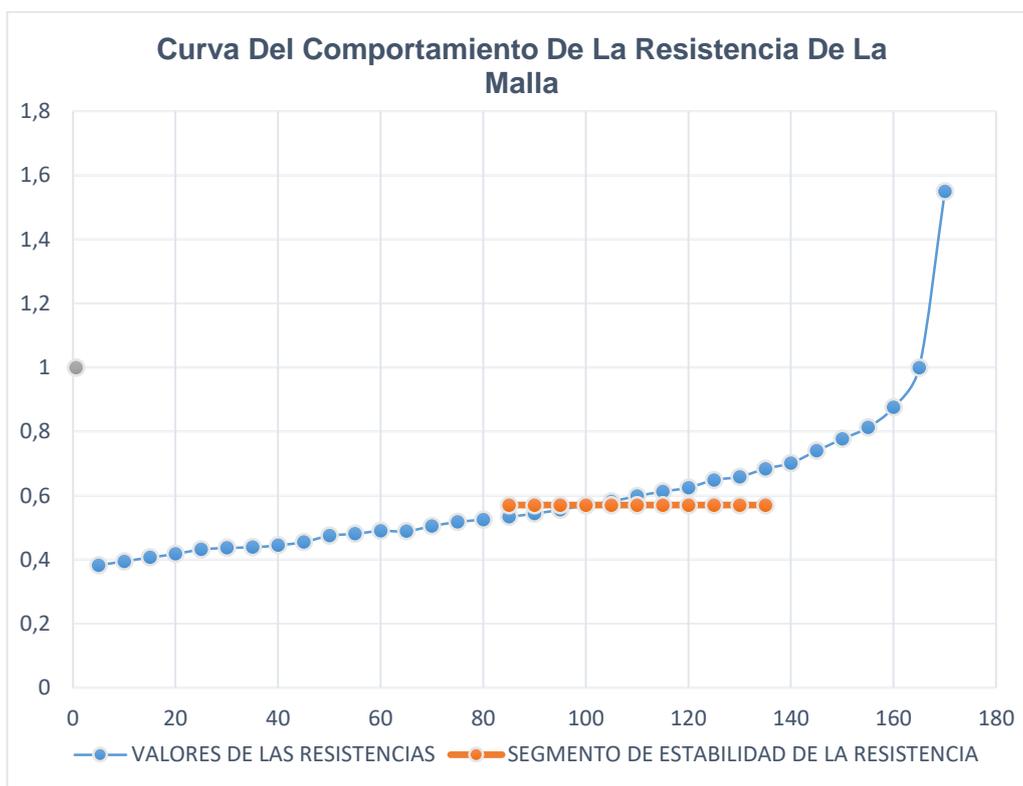


Fig. N° 62. Curva del comportamiento de la resistencia de la malla.
Fuente: Autor.

Una vez que se calcula la distancia adecuada del electrodo P1 que equivalente al 62% de la distancia del electrodo P2 se define el segmento de estabilidad del valor de la resistencia para esto es necesario designar un segmento cuyos valores estén ubicados antes y después del punto P1, el segmento designado estará entre 85m a 130m.

Con los valores obtenidos en ese segmento se calculó el valor promedio, el que representara el valor real de la malla como se indica en la tabla N°3.10.

Tabla 3.12

Segmento de estabilidad de los valores de resistencia de la malla

Distancias del Electrodo P1 (m).	Valor resistividad (Ω).
85	0,534
90	0,544
95	0,556
100	0,57
105	0,582
110	0,599
115	0,613
120	0,625
125	0,649
130	0,659

Fuente: Autor.

El valor obtenido es de 0.593Ω , este valor nos indica que la malla cumple con los valores establecidos en la norma IEEE Std 80-2000 para subestaciones eléctricas que sugiere el valor de resistencia de la malla debe ser menor o igual a 1Ω .

3.3 Medición del sistema de puesta a tierra de la central de generación eléctrica El Ambi.

Por razones de logística y seguridad no se pudo realizar la medición de la malla de puesta a tierra en la central hidroeléctrica el Ambi, debido a que para realizar las actividades de medición es necesario desconectar todo el sistema eléctrico y apagar las turbinas, estos procedimientos requieren de permisos los cuales no se pudo obtener, para realizar la medición del sistema energizado se necesita un telurómetro de alta frecuencia que no posee la empresa, sin embargo se realizara el diseño de la malla la que constara como registro para comprobar si la malla instalada en la central hidroeléctrica concuerda con la malla propuesta mediante modelación matemática utilizando la Norma IEEE Std 80-2000.

3.3.1 Ubicación y componentes del sistema de puesta a tierra.

La central hidroeléctrica el Ambi se encuentra ubicada en la Provincia de Imbabura en el cantón Antonio Ante a 8 kilómetros de la ciudad de Ibarra, en las proximidades de la vía Ibarra Urcuquí en la actualidad tiene la capacidad de generar 8.0MW de potencia efectiva, lleva el nombre del río con la que funcionan la turbinas rio Ambi.

3.3.2 Elaboración y modelado de las dimensiones de la malla a tierra para la central hidroeléctrica el Ambi.

Para realizar el modelado matemático de la malla para la central eléctrica el Ambi se considera los siguientes parámetros de operación de la hidroeléctrica el Ambi otorgados por la empresa Emelnorte.

- Corriente de falla (I_f) = 8.277kA.
- Tiempo de despeje de la falla (t_f) = 0.5s.
- Resistividad del suelo (ρ) = 250 Ω -m.
- Resistividad superficial del suelo (ρ_s) = 3000 Ω -m.

Para la elección de estos valores se ha determinado los parámetros de máxima capacidad de generación de la central hidroeléctrica y se ha seleccionado la corriente de falla del lado de baja tensión ya que este es el valor más alto que puede aparecer en caso de alguna falla. Para el dimensionamiento se ingresaron estos valores en la hoja de cálculo de Excel que permite obtener de una manera más rápida y fácil los valores y dimensionamiento de la malla, ya que es un programa que permite interactuar con los valores de las dimensiones de la malla y el número de varillas que necesita una malla. En la figura N°63 se puede ver la hoja de cálculo con los valores ingresados en la que indica el resultado y aprobación del dimensionamiento de la malla.

CALCULO DE MALLA DE PUESTA A TIERRA

Datos de campo

ρ	250	Ω/m	(resistividad del suelo)
ρ_s	3000	Ω/m	(resistividad superficial)
h_s	0,1	m	(Profundidad de la capa superficial)

Geometría de la malla

[Ver diagrama](#)

Tipo de malla:	Rectangular		
Largo (X):	25	m	
Ancho (Y):	20	m	
Área:	500	mm ²	
Espacio Vertical (Ey):	1	m	} D
Espacio Horizontal (Ex):	1	m	
Conductores verticales:	26,00		
Conductores Horizontales:	21,00		
Lc:	1045,00	m (Longitud total de la malla)	
h:	0,80	m (Profundidad de la malla)	

Cantidad de varillas:	10	
Largo:	1,8	m
Con varillas en las esquinas		
LR:	18	m
↓		
Lt:	1063,00	m
Lm:	1074,13	m

Parámetros eléctricos

Ts:	0,5	s (Tiempo de duración de la falla)
I falla:	2,35	kA
Sf:	95	% (Factor de división)

Conductor de la malla

[Ver tipos de materiales](#)

Tipo:	Cobre estirado en frío	
Conductividad:	97 % respecto al cobre puro	} IEEE 80-2000 Con temperatura de referencia 20°C
Factor α :	0,00381 a 20°C [1°C]	
K0 a 0°C:	242	
Tm:	1084 [°C] (Temperatura de fusión)	
pr a 20°C:	1,78 [$\mu\Omega \cdot cm$]	
TCAP:	3,42 [J/cm ³ ·°C] Capacidad termica	
Tipo de Union:	Soldada	
Temp Max de la Union:	450 °C	
Ta:	25 °C (temperatura ambiente)	
Area conductor MCM:	11,54 kcmil	} Características mínimas del conductor de tierra
Area mínima:	5,85 mm ²	
Diámetro mínimo:	2,73 mm	
Conductor de diseño:	4/0 AWG	
área:	107,20 mm ²	
diámetro:	11,68 mm	
diámetro:	0,01168 metros	

Tensiones máximas permisibles de paso y toque

K:	-0,85 (factor de reflexión)
Cs:	0,7155 (factor de reducción)
Peso de la persona:	70 kg
Ep:	3081,64 V (Voltaje de paso Max, para el peso indicado)
Et:	936,93 V (Voltaje de toque Max)

Resistencia de la malla [Rg]

Rg: 4,89 Ω

Corriente de Malla [Ig]

Ig: 2232,50 Amperios

Incremento de potencial [GPR]

GPR: 10917,72 V (Incremento de potencial en la malla)

Voltaje de malla [Em]

Em: 839,37 V (Voltaje de la malla en falla)

Voltaje de paso [Ep]

Ep: 1983,65 V

El Diseño cumple con la norma

Fig. Nº 63. Hoja de cálculo para mallas de puesta a tierra con la norma IEEE Std 80-2000.
Fuente: Autor

Al terminar los calculo podemos ver los resultados de dimensionamiento de la malla y el calibre de conductor que sugiere así mismo como el número de varillas o puntas de conexión para los diferentes puntos de aterramiento. Para mejor comprensión se enumerará los valores que se obtuvo de la hoja de cálculo.

- Largo de la malla = 25m.
- Ancho de la malla = 20m.
- Espaciamiento de la malla largo y ancho = 1m.
- Numero de varillas =10
- Longitud de las varillas = 1.8m
- Calibre del conductor de la malla = 4/0 AWG
- Voltajes de contacto de la malla = 839,37 V.
- Voltaje de paso de la malla = 1983,65 V.

Con estos valores obtenidos en la hoja de cálculo se puede tomar como referencia para realizar una contrastación y fiscalización del estado actual de la malla del sistema de puesta tierra de la central de generación El Ambi.

CAPÍTULO IV

4. Desarrollo del Manual.

En el presente capítulo se realiza la explicación y descripción del manual, el contenido informático y teórico del mismo las partes y aspectos más importantes con las que se distribuye el manual.

2.1 Composición estructural del manual.

El manual está enfocado en realizar el análisis de las puestas a tierra en los diferentes sistemas eléctricos como son líneas aéreas media y baja tensión, centrales hidroeléctricas y subestaciones. Es por esta razón que se enfoca de manera individual cada sistema eléctrico teniendo así 3 capítulos enumerados que a continuación se describen.

Procedimiento para realizar las mediciones, análisis y mejoramiento de la resistividad del suelo para instalar un nuevo sistema de puestas a tierra.

En esta parte se analiza la composición estructural del suelo o tierra en donde se instalará el nuevo sistema de puesta a tierra, en el intervienen aspectos como la medición y modificación del suelo para disminuir la resistividad del suelo con la finalidad de adecuarlo para instalar el nuevo sistema de puesta a tierra.

Para esto se realizó una investigación de los métodos de medición de la resistividad de la tierra y se propuso el método más eficiente y didáctico tomando en cuenta los equipos de medición que posee Emelnorte con la finalidad evitar la propuesta de un método de medición en el que se ocupe un equipo que no posea la empresa.

Procedimiento para medir, analizar y mejorar un sistema de puesta a tierra existente.

En este capítulo se analiza el estado funcional de un sistema de puesta a tierra instalado, en este capítulo se trabajó con los sistemas de tierra de las líneas eléctricas áreas, para así determinar si los valores de la resistencia cumplen con la norma establecida.

En esta área se propuso el método más utilizado para medir la resistencia del sistema de puesta a tierra como es el de caída de potencia o método del 68%.

Procedimiento para medir, analizar y mejorar un sistema de mallas de puesta a tierra.

En este capítulo se estudia el comportamiento funcional de las mallas de puesta a tierra, para este análisis se realiza la modelación matemática de la malla con los parámetros de funcionamiento del sistema eléctrico (subestación o centro de generación), luego se realiza una comparación entre los valores obtenidos en la modelación y los parámetros con los que está construida la malla que se está fiscalizando. Este procedimiento nos ayudara a encontrar errores puntuales como es el dimensionamiento de la malla y el calibre de los conductores entre otros factores que intervienen en la capacidad de disipación de corriente de la malla.

2.2 Etapas o fases en las que se distribuye el manual para cada procedimiento en la medición, análisis y mejoramiento de los diferentes sistemas de puesta a tierra.

El manual se distribuye en tres etapas las cuales se organizaron y distribuyeron por las actividades a realizar para tener una mejor organización y logística al momento de ejecutar los trabajos en el sistema de puesta a tierra.

Fase de planificación y preparación: En esta parte se realiza la logística para realizar las actividades o trabajos en las que se identifica:

- El tipo sistema eléctrico en el que se va a realizar el trabajo
- Se designa si es una inspección rutinaria o un trabajo de mantenimiento correctivo.
- Se elige el personal necesario y las herramientas que se utilizaran en la actividad.
- Se identifica el lugar y se recopila información de mantenimientos realizados en ese sistema.

Todas estas diligencias van respaldadas mediante un cronograma de trabajo en el que se registra todas estas actividades realizadas en el campo laboral y resultados de las mediciones.

Fase de trabajo de campo: En esta etapa se realiza las actividades de medición e inspección a los sistemas de puesta a tierra, para realizar la adquisición de datos o registro de las actividades de medición a los diferentes sistemas de puesta a tierra, para realizar estas actividades se decidió escoger los siguientes métodos tomando en cuenta los equipos de medición que tienen la empresa.

- Método de Wenner para realizar las mediciones de la resistividad del suelo o tierra.

- Método de 62% para la medición de sistemas a puesta a tierra existente sea para una varilla o para un conjunto de varillas o malla de puesta a tierra.
- Método para calcular y diseñar sistemas de mallas de puesta a tierra para subestaciones y centros de generación eléctrica mediante la norma IEE Stda 80-2000.

Estos procedimientos de medición van registrados para posteriormente comparar los valores arrojados de los sistemas de puesta a tierra con los valores que indica la norma IEE Stda 80-2000 para sistemas de puesta a tierra en los sistemas eléctricos.

Fase de análisis de datos recaudados.

En esta parte se realiza una comparación de los valores obtenidos en la medición con los valores que sugiere la norma IEE Stda 80-2000 para verificar si están en un rango aceptable, caso contrario dependiendo del sistema de puesta a tierra se propondrá una solución.

Una vez determinado el error falla se sugiere algunos métodos para la solución, estos métodos para solucionar el problema son los más aplicados y eficientes.

2.3 Anexos que compone el manual.

Una parte importante del manual son los anexos en esta parte se propone teoría que servía de información para el lector en caso de no tener conocimiento o dudas en los métodos utilizados para realizar las mediciones y los modelamientos matemáticos de los sistemas de puesta a tierra.

Se adjunta documentación como son tablas de valores de las resistividades del terreno, tablas de valores de los calibres de los conductores más utilizados en la construcción de sistemas de puesta tierra y se adjunta hojas de elaboración de informes acerca de las prácticas de mediciones a los sistemas de puesta a tierra.

El desarrollo de todo el manual que se describió anteriormente se encuentra en el anexo N°2 de presente trabajo de investigación para el análisis y mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra.

CONCLUSIONES

Para realizar las inspecciones y fiscalizaciones de los valores de resistencia de los sistemas de puesta a tierra del sistema eléctrico, el personal de Emelnorte realiza las mediciones en el periodo de construcción de las mismas con la finalidad de aprobar los proyectos de implementación, en caso de no ser aprobado se realiza un informe técnico para ejecutar las correcciones adecuadas con esto se logra tener un control de calidad de los sistemas de puesta a tierra.

Al momento de realizar el mantenimiento a los sistemas eléctricos de Emelnorte como subestaciones y centrales de generación eléctrica, se intervienen los elementos más importantes como son generadores y transformadores, el área de puestas a tierra se realiza inspecciones visuales y limpiezas generales en sus componentes visibles., no se realiza mediciones ya que estos sistemas de puesta a tierra son construidos tomando en cuenta el factor de incremento del sistema eléctrico lo que permite tener una malla dimensionada y de vida útil de hasta 20 años en su capacidad de disipación de las corrientes de falla, sin embargo en caso de alguna falla se realizan trabajos de corrección inmediatas.

La inclusión del manual en la empresa Emelnorte será de ayuda para reforzar el conocimiento adquirido mediante la práctica y expertica laboral por parte del personal de Emelnorte en el especial en el área el mantenimiento e instalaciones, ya que este contiene información teórica que servirá como base para despejar dudas que pueden aparecer al momento de realizar prácticas en el área de inspecciones y mantenimiento a los sistemas de tierra de Emelnorte.

RECOMENDACIONES

Tener conocimiento de los cronogramas y fechas en el que la empresa Emelnorte realiza los mantenimientos rutinarios a los sistemas eléctricos como subestaciones o hidroeléctricas, para aprovechar las desconexiones de sus elementos eléctricos y realizar las mediciones necesarias para la obtención de datos que servirán de referencia para el análisis de las puestas a tierra.

Antes de realizar las actividades de mediciones en los sistemas de puesta a tierra inspeccionar el equipo de medición telurómetro que tenga todas sus componentes y anticipar si es necesario llevar accesorios extras, como fue en el caso de los cables para realizar las conexiones a las picas, para la medición de mallas de puesta a tierra se necesitó 300m extras para cumplir con las normas de medición del método elegido como fue el de caída de potencial.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez Torres, M. (2006). *Manual para elaborar manuales de políticas y procedimientos*. Mexico D.F.: Panorama S.A. de C.V.
- Fluke Corporation. (18 de Enero de 2010). *Medida de la resistencia de la toma de tierra en edificios comerciales, residenciales y en plantas industriales*. Obtenido de http://pt.rs-online.com/es/pdf/RSFluke_Medida_Resistencia.pdf
- Acuña, J., Iglesias, M., & Jara, J. (25 de Mayo de 2011). *Medida de Resistividad de Terreno*. Obtenido de https://www.u-cursos.cl/usuario/834c0e46b93fd72fd8408c492af56f8d/mi_blog/r/1_Informe_Resistividad_de_Suelo.pdf
- Agulleiro, I. (21 de Agosto de 2014). *Técnicas Modernas para la medición de sistemas de puestas de tierra en zonas urbanas*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/lgsilk/medicion-de-sistema-de-puesta-a-tierra>
- Área Ingeniería Distribución-Sugerencia Redes Distribución. (Mayo de 2008). *Empresa de Servicios Públicos Colombia*. Obtenido de EMP: <https://es.scribd.com/document/61865750/Medida-de-La-Resistividad-Electrica-Delsuelo-Epm>
- Arturo, S. (14 de Febrero de 2014). *Red de puesta a tierra*. Obtenido de <http://www.salesianos-jerez.com/Archivos/Recursos/5%20Red%20de%20puesta%20a%20tierra.pdf>
- Briceño, J. (2015). *Manual para la medición de resistividad el suelo*. Venezuela: Universidad de los Andes.
- Cabello, M., & Sánchez, M. (2014). *Instalaciones eléctricas interiores*. Madrid-España: Editex.
- Cárdenas, J., & Galvis, E. (2011). *Manual para la interpretación del perfil de resistividad obtenido al realizar el estudio de la resistividad del suelo a partir de las configuraciones del método de Wenner*. Pereira: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2568/621317C266.pdf?sequence=1>
- Carrasco Sánchez, E. (2008). *Instalaciones eléctricas de baja tensión en edificios de viviendas*. Madrid-España: Tebar, S.L.
- Chauvin Arnoux Group. (19 de Octubre de 2015). *Guía de la medición de tierra: Controladores de tierra y resistividad*. Obtenido de http://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/cat_guia_de_medicion_de_tierra_ed2.pdf
- Chávez, R. (2004). *Análisis comparativo de los métodos de medición de resistencia en los sistemas de puesta a tierra*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Dehn, & Söhne. (2007). *Guía de protección contra incendios*. Alemania: DEHN .
- Enríquez Harper, G. (2004). *Instalaciones y montaje electromecánico*. Mexico: Limusa.
- Enriquez, G. (2005). *Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión*. México: LIMUSA.

- Fundación Metal-Asturias. (2009). *Prevención de riesgos laborales para electricidad*. España: Lex Nova.
- García, R. (1991). *La Puesta a tierra de instalaciones eléctricas y el R.A.T.* Barcelona-España: Boixareu.
- Hérmendez, L., Rodríguez, V., & Zamudio, E. (2009). *Sistema de tierras para equipo eléctrico electrónico*. MÉXICO: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO .
- Huisa, C. (2017). *Aplicación de los métodos de resistividad multielectrodo – Georadar y su modelización 2d para caracterizar el subsuelo en la ampliación del terminal portuario general San Martín región ICA*. Arequipa-Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA.
- Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, Inc. (2000). *Guía de IEEE para la seguridad en la puesta a tierra de la subestación de CA*. Piscataway-Estados Unidos: IEEE Power Engineering Society.
- JESÚS TRASHORRAS , M. (2015). *Subestaciones eléctricas*. Madrid-España : Ediciones Paraninfo, S.A.
- LEONARDO POWER QUALITY INITIATIVE. (s.f.).
- Macchia, & José. (2007). *Prevención de accidentes en las obras*. Buenos Aires-Argentina: Nobuko.
- MADRID PLC MADRID, J. M. (2016). *Instalaciones Eléctricas Interiores*. Madrid: Paraninfo,SA.
- Martínez, F. (2003). *Instalaciones eléctricas de alumbrado e industriales*. Madrid-España: Paraninfo.
- MetAs & Metrólogos Asociados. (31 de Marzo de 2008). *Tierra Física: Métodos de comprobación de conexión a tierra física*. Obtenido de <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-08-03-tierra-fisica.pdf>
- Miño, W., & Freire, L. (2011). *ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN EN EL ALIMENTADOR 01CV13B1S1-ORIENTAL DE LA SUBESTACIÓN 01CV EL CALVARIO DE ELEPCO S.A.* Latacunga-Ecuador: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO.
- Moreno, G., Valencia, J., Cárdenas, C., & Villa, W. (2017). *Fundamentos e ingeniería de las puestas a tierra: Respuestas ante fallas eléctricas y rayos*. Colombia: Universidad de Antioquia.
- Moreno, J., Fernández, C., & Lasso, D. (2010). *Instalaciones Eléctricas Interiores: Instalaciones eléctricas y electrónicas*. Madrid-España: Paraninfo.
- Moreno, J., Lasso, D., & Fernández, C. (2016). *Instalaciones eléctricas interiores* . Madrid-España: Paraninfo.
- Mujal, R. (2000). *Tecnología eléctrica*. Barcelona-España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Núñez Ramírez , F. (2015). *Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas*. Santo Domingo-República Dominicana: Universidad APEC.

- Oropeza, I. J. (2005). *Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal*. Mexico: Schneider Electric.
- Pacheco, Á., & Jimenez, J. (2013). *Diseño de sistema de puesta a tierra partiendo de un modelo biestratificado de terreno, aplicando un software computacional en el sector industrial*. Cuenca-Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4104/1/UPS-CT002589.pdf>
- ProCobre. (2017). *Mallas de tierra*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Pulido, A. (2014). *Nociones de hidrogeología para ambientólogos*. España: Universidad de Almería.
- Querales, C. (18 de Junio de 2015). *Manual de procedimiento para medición de resistencia de puesta a tierra*. Obtenido de https://issuu.com/carloseqr/docs/manual_de_procedimiento_para_medici
- Ramirez, J., & Cano, E. (2010). *Sistemas de puesta a tierra: Diseñado con IEEE 80 y avaluado con MEF*. Manizales-Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Ritz Hamburg. (18 de Diciembre de 2015). *Transformadores de medida en media tensión*. Obtenido de http://ritz-international.com/wp-content/uploads/2015/12/RITZ-Transformadores_de_medida_tension_standard_ESP_2014_01.pdf
- Roldan, J. (2013). *Manual del electromecánico de mantenimiento*. Madrid-España: Paraninfo.
- Schneider Electric. (26 de Agosto de 2010). *Guía de diseño de instalaciones eléctricas 08*. Obtenido de http://www2.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/31000/FA31015/es_ES/ECT.pdf
- Sosa, M., Maldonado, C., & Otorongo, M. (2014). *Normas para sistemas de distribución parte A - Guía para diseño de redes para distribución*. Quito-Ecuador: Empresa Eléctrica de Quito.
- Vignolo, M., & Berrutti, F. (2011). *Mallas de Tierra en Alta Tensión*. Universidad de la República.

Anexo A.

Encuesta realizada al personal de Emelnorte del Departamento de Fiscalización eléctrica.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS



Carrera: Ing. Mantenimiento Eléctrico.

Esta encuesta tiene el propósito de recabar información acerca de los métodos que utiliza la empresa EMELNORTE para el mantenimiento y mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra en Subestaciones, Hidroeléctrica y Líneas de Distribución.

ENCUESTA DIRIGIDA AL DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE FISCALIZACIÓN DE EMELNORTE

1. ¿Qué personal realiza la inspección, revisión de los sistemas de puestas a tierra?

..... Fiscalizadores de la Unidad.

2. ¿Qué equipos tiene la empresa para realizar las mediciones de los sistemas a tierra?

EQUIPO	MARCA	CANTIDAD
Telurímetros	Fluke	4
Telurímetro	ANC	6

3. Conoce; ¿Si los equipos cumplen con los estándares de calidad, y bajo qué normas se realiza la contrastación a los equipos de medición?

..... Vienna - contrastado de fabr. ca.

4. ¿Se constata la resistividad de la puesta a tierra de nuevo proyectos eléctricos?

Sí No

5. ¿Qué métodos utilizan en la empresa para mejorar y adecuar el valor de la resistividad del suelo en caso de que este lo requiera?

- a) Tratamiento del suelo con bentonita o arcilla.
- b) Tratamiento del suelo con sales minerales.
- c) Cambio de la tierra existente con otra tierra de mejor características de resistividad.
- d) Tratamiento del suelo con Gel bajo en resistividad.
- e) Otros (Describe).

.....

6. Del siguiente listado, ¿Qué normas utiliza la empresa para la comparación y contrastación de los valores obtenidos en la medición de la resistividad en los sistemas de puestas a tierra?

- a) NEC
- b) IEEE80-2000
- c) IEEE81-2000
- d) Otros (Describa)

7. ¿Poseen información técnica de los elementos utilizados en los sistemas de puestas a tierra de parte del fabricante o distribuidor? Cuáles enumere:

- 1) Vanilla
- 2) Solda oxfarmica
- 3) Condensador de sobre N2
- 4) _____
- 5) _____
- 6) _____

8. Del siguiente listado de elementos, ¿Cuál posee EMELNORTE para realizar las inspecciones a los sistemas de puesta a tierra?

- > Manual de mantenimiento de la empresa.
- > Manual de mantenimiento del fabricante de los equipos. ✓
- > Formato para diagnostico e inspección de equipos.
- > Hoja de vida de los equipos.
- > Normas para prueba de equipos.
- > Procedimiento para realización de las pruebas. ✓
- > Formatos para reporte de las pruebas. ✓

9. En caso de modelado y simulación de sistemas a tierra, ¿Qué tipo de software ocupa la empresa?

- 1) _____
- 2) Ninguno
- 3) _____

10. ¿Realizan cursos de capacitación sobre los sistemas de puesta a tierra?

Si

No

Si su respuesta es Sí: con qué frecuencia lo realizan Anualmente

Anexo B.

Encuesta realizada al personal de Emelnorte del Departamento de Subestaciones eléctricas.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS



Carrera: Ing. Mantenimiento Eléctrico.

Esta encuesta tiene el propósito de recabar información acerca de los métodos que utiliza la empresa EMELNORTE para el mantenimiento y mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra en Subestaciones, Hidroeléctrica y Líneas de Distribución.

ENCUESTA DIRIGIDA AL PERSONAL DEL ÁREA DE SUBESTACIONES

1. ¿Qué programa o software utiliza la empresa para diseño y cálculo del sistema de mallas de puestas a tierra?

Ninguno; los cálculos se los realiza en hoja de Excel.

2. ¿Existe un listado de pruebas a realizar para la revisión del estado y funcionamiento de los elementos de un sistema de puestas a tierra?

Si No

Si la respuesta es "SI": describa los más importantes.

- 1) *Prueba de resistencia de puesta a tierra*
- 2) *Prueba de resistividad del terreno.*
- 3) _____
- 4) _____
- 5) _____

3. ¿Con que frecuencia realizan las mediciones a los sistemas de puesta a tierra y el registro de los valores obtenidos en esta actividad?

- a) Cada 6 meses
- b) Cada 1 año
- c) Cada 2 años
- d) Tiempo mayor a 2 años

4. ¿Qué métodos utilizan para medir la resistencia de los sistemas de puesta a tierra existentes?

- a) Método de Wenner de 4 polos.
- b) Método de 3 polos llamado del 62%.
- c) Método 4 polos selectivo.
- d) Pinza de tierra.
- e) Otros (Describa).

5. ¿Considera la época del año para realizar las mediciones e inspecciones de los sistemas de puesta a tierra?

Si No

Indique las razones:

Se los realiza cuando existe la necesidad en cualquier espacio de tiempo.

6. ¿Qué precauciones toman y qué equipo de seguridad posee para realizar su trabajo?

Equipo de Seguridad:

- 1) Calco
- 2) Guantes
- 3) Zapatos dieléctricos
- 4) Ropa de trabajo.
- 5) Casco.

Precauciones a Considerar:

- 1) Verificación de presencia de tensión.
- 2)
- 3)
- 4)
- 5)

7. ¿Se ha realizado algún mantenimiento o mejoramiento al sistema de puestas a tierra actual?

Si No

Indique las razones:

Múltiples desconexiones en L/ST.

8. Enumere los elementos del sistema de puesta a tierra que con mayor frecuencia necesitan de mantenimiento sea preventivo o correctivo.

- 1) Sistema de PT en L/ST
- 2) Sistema de PT de S/E.
- 3) _____
- 4) _____
- 5) _____
- 6) _____
- 7) _____
- 8) _____
- 9) _____

9. ¿Qué herramientas poseen para realizar el mantenimiento preventivo o correctivo a las instalaciones de puestas a tierra?

Herramientas:

- 1) Medidor de resistividad del suelo.
- 2) Medidor de resistencia de la malla a tierra
- 3) _____
- 4) _____
- 5) _____
- 6) _____
- 7) _____
- 8) _____
- 9) _____

10. ¿Cuál es el Área encargada de organizar y supervisar estos trabajos?

Fiscalización y S/E.

11. Del siguiente listado de elementos cuales utilizan para tener un registro de las actividades realizadas.

- Formato para diagnóstico e inspección de equipos.
- Hoja de vida de los equipos.
- Formatos para reporte de las pruebas.
- Otros (Describa).

Formato para reporte de pruebas.

Anexo C.

Encuesta realizada al personal de Emelnorte de la Dirección de Generación.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS



Carrera: Ing. Mantenimiento Eléctrico.

Esta encuesta tiene el propósito de recabar información acerca de los métodos que utiliza la empresa EMELNORTE para el mantenimiento y mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra en Subestaciones, Hidroeléctrica y Líneas de Distribución.

ENCUESTA DIRIGIDA AL PERSONAL DEL ÁREA DE CENTRALES DE GENERACION

1. ¿Qué programa o software utiliza la empresa para diseño y cálculo del sistema de mallas de puestas a tierra?

La Dirección de Generación no utiliza ningún programa o software.

2. ¿Existe un listado de pruebas a realizar para la revisión del estado y funcionamiento de los elementos de un sistema de puestas a tierra?

Si No

Si la respuesta es "Sí": describa los más importantes.

- 1) _____
- 2) _____
- 3) _____
- 4) _____
- 5) _____

3. ¿Con que frecuencia realizan las mediciones a los sistemas de puesta a tierra y el registro de los valores obtenidos en esta actividad?

- a) Cada 6 meses
- b) Cada 1 año
- c) Cada 2 años
- d) Tiempo mayor a 2 años

4. ¿Qué métodos utilizan para medir la resistencia de los sistemas de puesta a tierra existentes?

- a) Método de Wenner de 4 polos.
- b) Método de 3 polos llamado del 62%.
- c) Método 4 polos selectivo.
- d) Pinza de tierra.
- e) Otros (Describa).

.....

5. ¿Considera la época del año para realizar la mediciones e inspecciones de los sistemas de puesta a tierra?

Si No

Indique las razones:

.....
.....

6. ¿Qué equipo de seguridad posee para realizar la medición del sistema de malla de puesta a tierra y qué precauciones se deben considerar?

Como no se realiza esta medición no se aplica.

Equipo de Seguridad:

- 1) _____
- 2) _____
- 3) _____
- 4) _____
- 5) _____

Precauciones a Considerar:

- 1) _____
- 2) _____
- 3) _____
- 4) _____
- 5) _____

7. ¿Se ha realizado algún mantenimiento o mejoramiento al sistema de malla de puesta a tierra?

Si No

Indique las razones:

- Por fallos en equipos de medición y protección
.....
.....
.....
.....
.....

Anexo D.

Encuesta realizada al personal de Emelnorte encargado del mantenimiento y construcción de la Dirección de Distribución.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS



Carrera: Ing. Mantenimiento Eléctrico.

Esta encuesta tiene el propósito de recabar información acerca de los métodos que utiliza la empresa EMELNORTE para el mantenimiento y mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra en Subestaciones, Hidroeléctrica y Líneas de Distribución.

ENCUESTA DIRIGIDA AL PERSONAL DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN

1. Describa los pasos o procedimientos que realizan para instalar un nuevo sistema de puesta a tierra en redes de distribución.

- 1) Resistencia
- 2) Alegre
- 3) Comprobación
- 4) Puesta a tierra
- 5) limitación del sitio de trabajo
- 6) _____
- 7) _____
- 8) _____
- 9) _____

2. De los siguientes métodos enumerados, ¿Cuál utiliza para medir la resistividad del suelo?

- a) Método de Wenner
- b) Método de Tres picas.
- c) Método Schlumberger.
- d) Otros (describa).

..... Ninguna

3. ¿Qué método se utiliza para medir un electrodo o sistema de puesta a tierra existente?

- a) Método de Wenner de 4 polos.
- b) Método de 3 polos llamado del 62%.
- c) Método 4 polos selectivo.
- d) Pinza de tierra.
- e) Otros (Describa).

..... Ninguna

4. ¿Qué herramientas y equipo de seguridad se requiere para realizar el trabajo instalación de los sistemas de puesta a tierra? Enumere.

Herramientas:

- 1) Gantes
- 2) Gafas
- 3) casco
- 4) casco
- 5) _____

Equipo de seguridad:

- 1) _____
- 2) _____
- 3) _____
- 4) _____
- 5) _____

5. ¿Qué técnicas conocen para mejorar la resistividad de suelo?

- a) Tratamiento del suelo con bentonita o arcilla.
- b) tratamiento del suelo con sales minerales.
- c) Cambio de la tierra existente con otra tierra con mejor características.
- d) Tratamiento del suelo con Gel bajo en resistividad.
- e) Otros (Describe).

.....
.....

6. ¿Realizan revisiones periódicas a los sistemas de puesta a tierra en sistemas eléctricos de distribución?

- Si No

Si la respuesta es "Si": con qué frecuencia lo realizan

7. ¿Utiliza normas de referencia para establecer valores estándar de resistividad?

- Si No

En caso que su respuesta sea "Si" indique cuales:

.....

8. ¿Cree que es necesario recibir capacitación y cursos acerca de los sistemas de puesta a tierra?

- Si No

.....
.....

Anexo E.

Manual de propuesta de procedimientos para el análisis y mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra en el sistema eléctrico de Emelnorte.

Contenido

1.	Introducción.....	122
2.	Objetivos.....	122
3.	Área del aplicación y alcance de procedimientos.....	122
4.	Glosario de términos.....	122
	<i>Definiciones y conceptos básicos.</i>	122
5.	Indicaciones del Manual.	125
6.	Desarrollo.....	125
6.1	Procedimiento para realizar las mediciones, análisis y mejoramiento de la resistividad del suelo para instalar un nuevo sistema de puestas a tierra.	125
6.1.1	Fases A. Planificación y Preparación.	125
6.1.2	Fase B. Trabajo de Campo.....	125
6.1.3	Fase C. Análisis de datos Recaudados.....	127
6.2	Procedimiento para medir, analizar y mejorar un sistema de puesta a tierra existente. 130	
6.2.1	Fases A. Planificación y Preparación.	130
6.2.2	Fase B. Trabajo de Campo.....	131
6.2.3	Fase C. Análisis de datos Recaudados.....	133
6.3	Procedimiento para medir, analizar y mejorar un sistema de mallas de puesta a tierra. 134	
6.3.1	Fases A. Planificación y Preparación.	134
6.3.2	Fase B. Trabajo de Campo.....	135
6.3.3	Fase C. Análisis de datos Recaudados.....	137
	Caso 1.....	137
	Caso 2.....	137
	Primer método de análisis y solución.	138
	Segundo método de análisis y solución.	151
7.	Anexos.....	159
	Anexo N° 1. Hojas para registrar los valores de Medición.....	159

Anexo N° 2. Tabla de valores de la resistividad del terreno.	162
Anexo N° 3. Método de medición de la resistividad del suelo.	163
Anexo N° 4. Ejemplo para ingreso de los valores en la hoja de registro de datos.	165
Anexo N° 5. Descripción de materiales.	166
Anexo N°6. Método de caída de tensión.	167
Anexo N° 7. Tabla del calibre de los conductores de cobre desnudo.....	170

1. Introducción.

El sistema de Puesta a Tierra es el elemento principal de descarga y disipación al suelo de las corrientes de falla, que aparecen en los diferentes elementos eléctricos que conforman un sistemas eléctrico, siendo así el elemento de seguridad más importante que evita descargas eléctricas hacia el personal que opera o trabaja en estos lugares, sin embargo, no se les da la atención necesaria al momento de realizar el diseño y construcción de redes eléctricas, ya que en la mayoría de los casos, estas no cumplen con las normas técnicas de construcción necesarias para la protección de descargas eléctricas y corrientes de falla.

2. Objetivos.

- Servir como guía técnica para el personal de la empresa Emelnorte para diagnosticar y evaluar el estado de las puestas a tierra en su sistema eléctrico.
- Dotar de información referente a las normas técnicas que se utiliza de estándares para contrastar, mejorar y recomendar acciones que nos permitan mejorar los sistemas de puesta a tierra.

3. Área del aplicación y alcance de procedimientos.

El presente manual está enfocado en la medición, análisis y mejoramiento de sistemas de puesta a tierra en redes aéreas eléctricas, subestaciones y centrales de generación.

4. Glosario de términos.

Definiciones y conceptos básicos.

Electrodo a tierra. Son varillas encargadas de conducir la descarga eléctrica al suelo o tierra, están recubiertas de cobre para mejorar la conductividad eléctrica estas son el punto de conexión física entre el equipo eléctrico a proteger y el sistema de puesta a tierra; este elemento siempre debe ir enterrado en el suelo para que las descargas eléctricas se disipen en el mismo.

Tensión de Contacto. Es la descarga eléctrica que sufre una persona al estar en contacto directo con las estructuras metálicas, bajantes o líneas de puesta a tierra que componen los sistemas eléctricos como Subestaciones, Hidroeléctricas y Redes de Alimentación; esto ocurre en casos de descargas atmosféricas o en presencia de corrientes de falla en el sistema eléctrico.

Tensión de Contacto. Es la diferencia de potencial que experimenta una persona al estar el área interna de una subestación, esto sucede cuando el sistema de mallas de puesta a tierra no tiene la capacidad suficiente de disipar la corriente de falla máximas del sistema, la tensión de paso se produce entre la distancia de los pies de la persona (1 metro) sin necesidad que la persona esté en contacto con la estructura o partes metálicas de la subestación.

Resistividad del Terreno. Es la capacidad que tiene el suelo de oponerse al paso de la corriente eléctrica, este valor puede variar dependiendo de los componentes químicos que conformen el suelo, este valor se mide en ohmios-metro.

Puesta a Tierra. Es la acción de conectar elemento eléctrico al sistema de protección para descargas eléctricas que se disipan en el suelo.

Tierra. Es el punto de referencia y descarga eléctrica en el que se instalará los sistemas de protección de los sistemas eléctricos.

Bajante. Componente de conexión física entre los sistemas eléctricos y el sistema de puestas a tierra, estos pueden ser cables desnudos o con aislamiento, barrillas; pueden ir libres por tuberías.

Telurómetro. Dispositivo electrónico utilizado para medir la resistencia de un sistema de puesta a tierra y la resistividad del terreno, basado en la aplicación de voltaje y corriente.

Punto de Conexión Eléctrica. Es el punto de unión de dos o más elementos, existen varias formas de realizar esta acción se mediante suelda, con tornillos y acoples, por conectores de presión.

Malla de Tierra. Es el conjunto o sistema de más de varillas de puesta a tierra y conductores de cobre conectados entre sí con la finalidad de proporcionar una mayor capacidad de tolerancia a la corriente de falla que circulara por él, logrando disipar esta corriente hacia el piso que lo rodea.

Soldadura Exotérmica. Es la acción de fusión de dos o más conductores metálicos mediante la fundición por medio de calor. Esta unión mejora las propiedades mecánicas, eléctricas y relativas a la corrosión respecto a cualquier unión mecánica. Este tipo de unión es el mejor procedimiento para realizar conexiones permanentes, conservando la capacidad de conductividad eléctrica en todo tipo instalación de sistemas de puesta a tierra.

5. Indicaciones del Manual.

El manual está diseñado en su mayoría en base a las fórmulas y reglamentos de las normas IEE Std 80-2000 y la norma IEEE Std 142-1991.

El manual está diseñado para realizar el análisis y diagnóstico de soluciones en mantenimiento preventivo y para mantenimiento correctivo aplicados en periodos de 1 a 5 años.

6. Desarrollo.

6.1 Procedimiento para realizar las mediciones, análisis y mejoramiento de la resistividad del suelo para instalar un nuevo sistema de puestas a tierra.

6.1.1 Fases A. Planificación y Preparación.

- a) Destinar el número de personas y asignar las diferentes actividades que se llevaran a cabo en esta actividad.
- b) Realizar un listado con los materiales que se utilizan para ejecutar las mediciones (Equipo de seguridad personal y herramientas de trabajo).
- c) Revisar el manual de usuario del telurómetro que se va a utilizar para despejar cualquier duda o inquietud acerca del funcionamiento del equipo.
- d) Revisar el estado actual del telurómetro y sus componentes.

-Cables.

-Puntas o picas.

-Vigencia de la calibración de telurómetro.

- e) Llevar accesorios de repuesto en caso de necesitarlo (cables del telurómetro, picas.)
- f) Estudiar y asesorarse acerca del método que se empleara en la medición (Wenner 4 picas)
- g) Planificar un cronograma de actividades en el que se considere el día, la hora, el o los lugares en que se realizará la medición con la finalidad de optimizar tiempo de movilización, ver anexo N°1

6.1.2 Fase B. Trabajo de Campo.

- a) Inspeccionar e informarse mediante planos (consultar con el personal de mantenimiento la existencia de los planos referenciales) la presencia de tuberías u

otros elementos enterrados en el suelo que interfieran en la actividad de medición para el sistema de puesta a tierra.

- b) Identificar el tipo de suelo en el que se va a realizar las mediciones: estos pueden ser húmedo, seco, arcilloso, pantanoso, rocoso etc. Esto será un indicador del valor de resistividad del suelo, ver anexo N°2 tabla de valores acerca de la resistividad del suelo.
- c) Designar el lugar y distancia en las cuales se realizarán las mediciones de la resistividad del suelo, las mediciones se realizarán en línea recta cubriendo la mayor zona posible en donde se ubicará el sistema de puesta a tierra, se recomienda realizar dos o más mediciones en diferentes trayectorias rectas como se muestra en la figura N° 1.

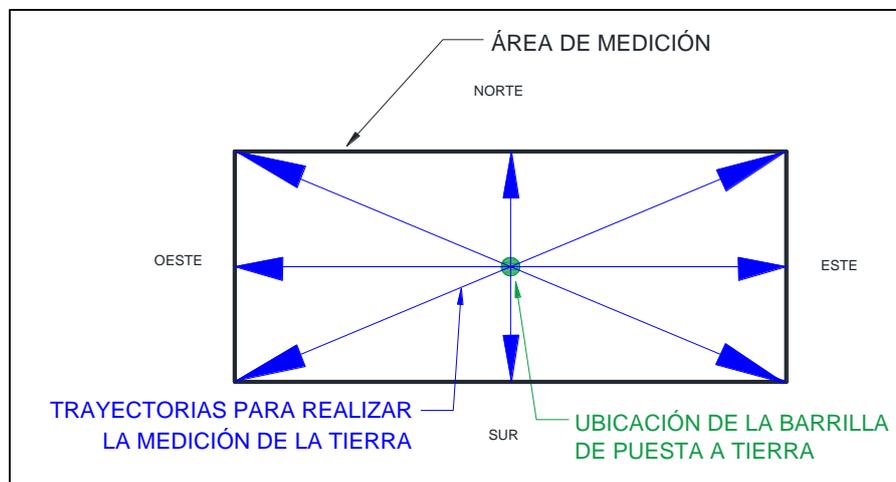


Fig. 11 Trayectorias para realizar la medición de la resistividad del piso.

Fuente: Autor.

- d) Preparar el equipo de medición.
 - Desenrollar los cables.
 - Alistar las picas y el martillo.
 - Encender o prender el telurómetro.
- e) Alistar la hoja para registrar los valores de las mediciones ver anexo N°1.
- f) Medir con un flexómetro las distancias en donde se enterrarán las picas.
- g) Conectar los cables a las picas y luego al telurómetro, para utilizar la configuración del método Wenner ver la figura N° 2.

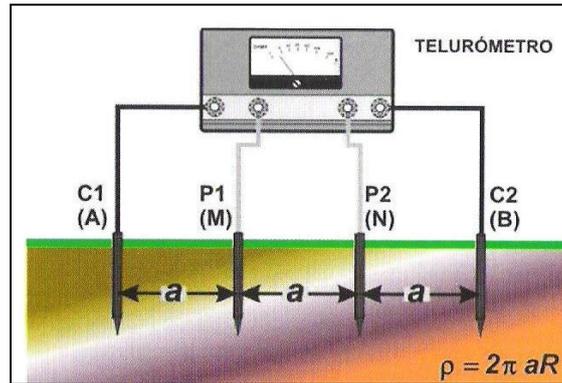


Fig. 2 Posicionamiento y distancia entre picas.

Fuente: http://medicionresistividad.blogspot.com/2010/12/metodos-para-la-medicion-de_08.html

- h) Comprobar que las conexiones sean las adecuadas y estén estables para tener una mejor precisión de la lectura y que no exista fuga de energía por conexiones inadecuadas.
- i) Encender o accionar el telurómetro, ejecutar la medición y escribir los datos obtenidos en la hoja de tabulación de datos, ver anexo N°1.
- j) Para obtener el valor de la resistividad en ohmios por metro cuadrado realizar el desarrollo matemático como se indica en el anexo N°3.
- k) Anotar en la hoja de registro de actividades los valores obtenidos en la medición e indicar las novedades de la medición como se indica en el anexo N°4.
- l) Para tener un valor confiable es necesario repetir las lecturas en varias líneas como se indicó en la figura 1 y con varias distancias, para esto repetir nuevamente los pasos desde el apartado (e).

6.1.3 Fase C. Análisis de datos Recaudados.

- a) Una vez obtenido las medidas procedemos a realizar el análisis, para ver si el valor de la resistividad del suelo está en los rangos de aceptación, para realizar un sistema de puesta a tierra en ese lugar, para sistemas de puesta a tierra el rango tolerable de resistividad del terreno de estar entre 100 a 300 ($\Omega \cdot m$), si el valor del terreno supera este rango es necesario realizar tratamientos al suelo para disminuir el valor de la resistividad del mismo.
- b) Al momento de verificar si el valor obtenido en la medición está en el rango normal y tolerable se procederá a realizar un informe acerca de la actividad realizada.
- c) Si los valores obtenidos no son los adecuados y están por encima de los estándares de funcionamiento, es necesario realizar un tratamiento a la tierra para disminuir la resistividad de la misma. A continuación, se describe los métodos y procesos para mejorar la resistividad del suelo:

Combinación de materiales para el relleno del pozo o trinchera del electrodo.

Este método consiste en modificar el material que rodea la varilla de puesta a tierra, mediante materiales como bentonita, marconita, yeso o por medio de tamizaje de la tierra, para quitar elementos rocosos que alteran la conductividad eléctrica del suelo, estos tratamientos se los realiza dependiendo del valor de la resistividad del terreno. El porcentaje de reducción de la resistividad es muy difícil calcularlo con exactitud, ya que el suelo no es uniforme y su comportamiento depende de las capas con las que está conformado el mismo.

A continuación, se describe el porcentaje de resistividad eléctrica que se puede disminuir de un terreno combinando los materiales que se enumeraron anteriormente.

Para lugares de alta resistividad, donde se cambia el terreno de los pozos en forma total el porcentaje puede estar entre un 50 a 60 % de reducción de la resistencia eléctrica resultante. Ejemplo:

$\rho_i = 200 \text{ ohmios-metro.}$

$$\rho_f = \frac{200 \times 60}{100}.$$

$\rho_f = 120 \text{ ohmios-metro.}$

Para terrenos de media resistividad, donde se cambie la tierra de los pozos en forma total, el porcentaje puede estar como lo siguiente.

- Cambio parcial de 20 a 40 % de reducción de la resistencia eléctrica resultante.
- Cambio total de 40 a 60 % de reducción de la resistencia eléctrica resultante.

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.

Estos porcentajes varían dependiente del tipo de relleno que se utilice, en el anexo N°5 se describe las cualidades de los elementos más utilizados para realizar este trabajo.

Ejemplo de cómo realizar el relleno del pozo para un sistema de puesta a tierra común de 1 electrodo o varilla con bentonita.

1. Cavar un pozo, las dimensiones deben ser mayor a la distancia del electrodo, ya que el electrodo debe estar enterrado entre 0.5 a 1m de profundidad para redes eléctricas aéreas como se muestra en la figura N° 3.

Para un electrodo de 2,4m de longitud cavar un pozo de 3m de profundidad con un radio de 0,25m o un perímetro de 0.50m que rodee a la barrila, la cantidad de elemento a rellenar el pozo será de 25 a 30kg.

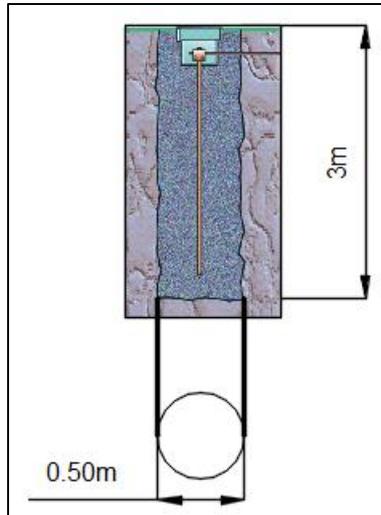


Fig.3: Distancia para ubicación de un electrodo en redes aéreas.
Fuente: Manual técnico de distribución IBERDROLA.

2. Ubicar y colocar el electrodo en el pozo, fijar el electrodo en el suelo, golpeando con un martillo para que este quede enterrado la punta y así quede firme antes de colocar la bentonita como se muestra en la figura N° 4.

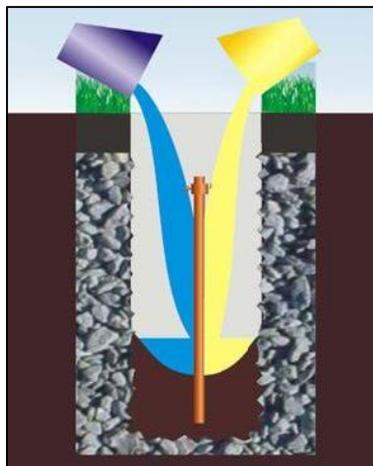


Fig.4: Fijación del Electrodo antes de rellenar el pozo
Fuente: Thor Gel.

3. Si el valor de resistividad del suelo es bajo, se puede realizar un relleno mediante la mezcla de estos dos elementos para economizar, para lo cual hay que tamizar la tierra del pozo para mezclarla con la bentonita, como se muestra en la figura N°5.



Fig.5: Mezcla entre la bentonita y la tierra tamizada.
Fuente: Fallaselectronicas.com

4. Si se rellenara el pozo en su totalidad con bentonita, la cantidad estimada es de 25 a 30 kg del material, esto depende de la compactación que se realice en el proceso del relleno, la cantidad de bentonita que se sugirió está diseñada para las dimensiones del pozo antes indicadas en la figura N° 3.
5. Ubicar la caja de revisión al sistema de puesta a tierra ver figura N° 6, con esta caja se facilita el trabajo de inspecciones y mantenimientos que se realizan a estos sistemas.



Fig.6: Pozo o caja de revisión de sistema de puesta a tierra.
Fuente: Domo Electra.

6. Unir mediante conectores de presión o suelda exotérmica la varilla de puesta a tierra al conductor o bajante del sistema eléctrico a aterrarse.

6.2 Procedimiento para medir, analizar y mejorar un sistema de puesta a tierra existente.

6.2.1 Fases A. Planificación y Preparación.

- a) Destinar el lugar y día en el que se realizará las mediciones del sistema de puesta a tierra para analizar su estado de funcionamiento.
- b) Revisar la existencia de archivos como planos de construcción, informes de mantenimiento o informe de averías por parte de los operarios encargados del monitoreo del sistema eléctrico a inspeccionar.

- c) Realizar un listado con los materiales que se utilizan para realizar las mediciones (Equipo de seguridad del personal y herramientas de trabajo).
- d) Revisar el manual de usuario del telurómetro que se va a utilizar para despejar cualquier duda o inquietud acerca del funcionamiento del equipo.
- e) Revisar el estado actual del telurómetro y sus componentes.
 - Cables.
 - Puntas o picas.
 - Vigencia de la calibración de telurómetro.
- f) Llevar accesorios de repuesto en caso de necesitarlo (cables del telurómetro, picas).

6.2.2 Fase B. Trabajo de Campo.

- a) Con la ayuda de los planos de construcción ubicar las varillas o electrodos de puesta a tierra, en algunos casos pueden estar ubicadas en cajas de revisión como se indica en la figura N° 7.



Fig.7: Pozo para revisión de Sistema de Puesta a Tierra.
Fuente: <http://fibraoptica.blog.tartanga.eus/>.

- b) Elegir la mejor ubicación para realizar las mediciones como se indica en la figura N° 8, con la finalidad de evitar el contacto con los elementos que componen el sistema eléctrico, para evitar accidentes laborales.



Fig.8: Forma adecuada de ubicación para medir la resistividad del suelo.
Fuente: AUTMAN SRL.

- c) Desconectar o interrumpir la alimentación del sistema eléctrico en el que se va a trabajar, con la finalidad de evitar descargas eléctricas al personal que realizara las mediciones y para evitar corrientes y voltajes que interfieran o alteren los valores al momento de realizar la medición de los sistemas de puesta a tierra.
- d) Preparar el equipo de medición.
- Comprobar continuidad de los cables con un multímetro.
 - Alistar las picas y el martillo.
 - Encender o prender el Telurómetro.
 - Disponer de la hoja de apuntes y registro de los valores obtenidos en la medición ver Anexo N° 2.
- e) Realizar la medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra, a continuación, se enumera el procedimiento a seguir.
1. Identificar si el sistema de puesta a tierra existente es con un electrodo o simple (sistemas de redes aéreas eléctricas).
 2. Desdoblar y extender los cables por la trayectoria definida para medir.
 3. Enterrar las varillas o picas en el piso con la ayuda de un martillo o combo.
 4. Para medir un sistema de puesta a tierra conectar mediante la configuración del método de caída de potencial, (Descrito en el Anexo N° 6), en la figura N° 9 se ejemplifica la configuración y conexión del método sugerido.

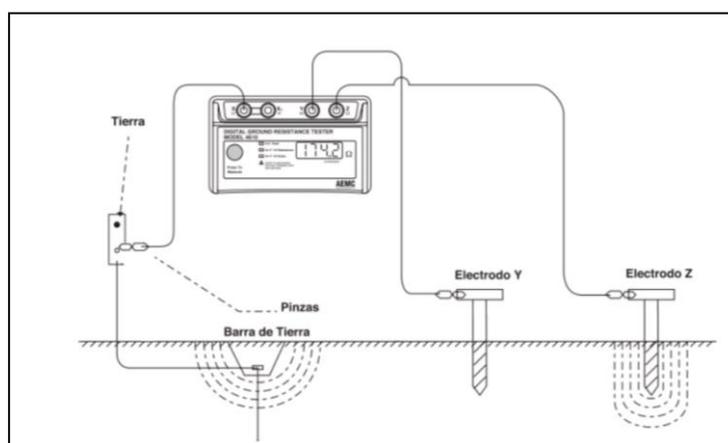


Fig.9: Conexión Telurómetro método caída de potencial.

Fuente: puesta a tierra manual ENSA

5. Realizar este procedimiento de medición en varias direcciones con diferentes distancias y anotar estos valores en la hoja de registro para su análisis posterior.

6. Registrar los valores obtenidos en la medición y describir las observaciones que suscitaron al momento de realizar la actividad, para el registro de las actividades se sugiere la hoja que se encuentra en el Anexo N° 2.

6.2.3 Fase C. Análisis de datos Recaudados.

Con los valores obtenidos en la medición se realiza una comparación para saber si los valores registrados en la medición cumplen los estándares de calidad descritos en las normas IEE Std 142-1991 y la norma IEE Std 80-2000. A continuación, se muestra una tabla con los valores aceptables de resistividad para sistemas de puestas a tierra.

TABLA 1
Valores recomendados de resistencia de puesta a tierra.
APLICACIÓN VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

Estructuras de líneas de transmisión	20Ω
Subestaciones de alta y extra alta tensión	1Ω
Subestaciones de media tensión	10Ω
Protección contra rayos	10Ω
Neutro de acometida en baja tensión	25Ω
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.	

En el caso de que estos valores no estén en el rango de aceptación es necesario realizar un mejoramiento al sistema de puesta a tierra, para esto se realizara un diseño del sistema de puesta a tierra.

Opción 1.

En esta opción se considera como solución mejorar la conductividad del piso o resistividad del suelo.

El procedimiento para mejorar la resistividad del suelo se puede revisar en el contenido 5.1 de manual, disminuyendo así la resistividad del suelo que rodea la varilla de puesta a tierra y la resistencia del sistema.

Opción 2.

Si la ubicación del poste y sistema de puesta a tierra, está en un lugar de condiciones desfavorables para el mejoramiento de la resistividad del suelo, dificultando los trabajos por su ubicación (veredas o aceras, suelos rocosos), se procederá a instalar un electrodo químico, estos electrodos están diseñados y se clasifican por los diferentes valores de resistencia, la selección del electrodo depende del valor de resistividad del suelo en el que se lo instalará.

Nota: Las descripciones y procedimiento de instalación de estos tipos de electrodos son especificadas por fabricante, éstas pueden variar entre fabricantes o marcas es por esta razón que no se indica el proceso de instalación por razones comerciales del producto.

Opción 3.

En esta opción se puede disminuir el valor de resistencia del piso uniendo dos o más electrodos mediante conectores de presión o abrazaderas, esta unión será lineal o en serie entre los electros, mediante cable desnudo de cobre, el diámetro a calibre mínimo a utilizar será 2/0 AWG y la distancia de separación entre electrodos o varillas debe ser mayor a la longitud del electrodo enterrado, para realizar el cálculo del valor de la resistencia equivalente de este sistema, se emplea la siguiente formula.

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

Donde:

R= resistencia.

L= longitud de la varilla.

ρ = resistividad del piso.

a= radio de la varilla.

s= distancia de separación entre varillas.

6.3 Procedimiento para medir, analizar y mejorar un sistema de mallas de puesta a tierra.

6.3.1 Fases A. Planificación y Preparación.

- a) Destinar el lugar y día en el que se realizará las mediciones del sistema de puesta a tierra para analizar su estado de funcionamiento.
- b) Revisar la existencia de archivos como planos de construcción, informes de mantenimiento o informe de averías por parte de los operarios encargados del monitoreo del sistema eléctrico a inspeccionar.
- c) Realizar un listado con los materiales que se utilizan para realizar las mediciones (Equipo de seguridad personal y herramientas de trabajo).
- d) Revisar el estado actual del telurómetro y sus componentes.

- Cables.
- Puntas o picas.
- Vigencia de la calibración de telurómetro.
- e) Llevar accesorios de repuesto en caso de necesitarlo (cables del telurómetro, picas).

6.3.2 Fase B. Trabajo de Campo.

Antes de realizar los trabajos de campo hay que tomar en cuenta las siguientes sugerencias por la cual el sistema de malla de puesta a tierra no funciona correctamente o tienen un desperfecto en su comportamiento normal.

- Discontinuidad en la circulación del circuito que conforma la malla de puesta a tierra, provocado por desconexión en las uniones (suelta exotérmica) o ruptura del conductor de cobre.
- Error al momento de realizar los cálculos para diseñar la capacidad y dimensión de la malla de sistema de puesta a tierra.
- Incremento de los valores nominales iniciales con los que se construyó el sistema eléctrico debido al aumento de demanda de energía eléctrica a utilizar.

Para realizar los trabajos de campo en estos sistemas eléctricos es necesario realizar los siguientes procedimientos para trabajar con seguridad ocupacional y evitar sufrir descargas eléctricas.

- Desconectar o desenergizar en su totalidad el sistema eléctrico en el que se realizara las mediciones.
- Señalizar y bloquear los sistemas eléctricos para que no se pueda reconectar hasta terminar el trabajo.
- Verificar ausencia de energía en los sistemas eléctricos.
- Desconectar los elementos aterrados por medio de las bajantes al sistema de mallas de puesta a tierra.

Procedimiento para realizar la medición de la resistencia de malla del sistema de puesta a tierra.

Para realizar este procedimiento de medición se utiliza la metodología de 62% o el método de calidad de potencial, a continuación, se enumera el procedimiento de cómo realizar la medición.

1. Utilizar los planos de construcción para identificar la ubicación y dimensión de la malla de sistema de puesta a tierra.

2. Identificar los puntos o cajas de revisión de la malla, generalmente se las conoce como bajantes y son los puntos de conexión de los elementos del sistema eléctrico con la malla de puesta a tierra.
3. Designar el o los puntos de conexión de la malla que se utilizarán para medir la resistencia del sistema de puesta a tierra.
4. Designar la mejor trayectoria en la que se extenderá los cables del telurómetro para realizar la medición.
5. Medir y marcar los puntos en donde se ubicarán las picas del telurómetro.
6. Desdoblar y extender los cables por la trayectoria definida anteriormente.
7. Enterrar las varillas o picas en el piso con la ayuda de un martillo o combo.
8. Realizar la medición de la malla en cada punto seleccionado como se indica la figura N°10.

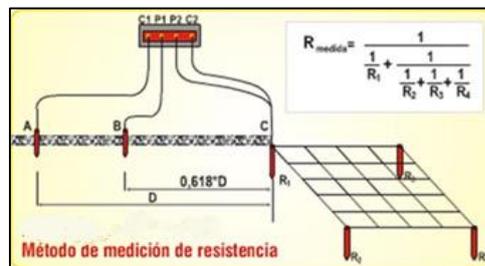


Fig.10: Método de conexión y medición para mallas de puesta a tierra.

Fuente: CODENSA.

9. Para realizar la medición de varios puntos de la malla, en el caso de que se necesite obtener un valor equivalente de la resistencia de la malla se puede utilizar la metodología descrita en el Anexo N° 6),
10. Registrar los valores obtenidos en la medición y describir las observaciones que suscitaron al momento de realizar la actividad, para el registro de las actividades se sugiere la hoja que se encuentra en el Anexo N° 2.

Una vez realizados los pasos anteriores se procede a realizar una inspección visual de todos los componentes y factores que determinan el estado funcional del sistema de puesta a tierra como.

- Estado actual físico y de conexión de la varilla de puesta a tierra con los bajantes en las cajas de revisión.
- Medición de continuidad de la malla de puesta a tierra con un multímetro.

Una vez determinado el problema en el sistema de mallas de puesta a tierra se realizará un informe del daño o error localizado con la finalidad de dar una solución.

6.3.3 Fase C. Análisis de datos Recaudados.

En esta etapa del trabajo se busca solucionar el problema, se puede clasificar de manera general dos fallas o casos más comunes que son:

Caso 1.

Degradación y ruptura en las uniones de la malla de puesta a tierra, normalmente esto ocurre a partir de los 5 años de construcción del sistema de puesta a tierra, debido a la oxidación de los elementos de la malla, provocado por la utilización de sales en el tratamiento para la disminución de la resistividad del suelo, incrementando así el PH del suelo, que aumenta los niveles de elementos oxidantes en el suelo, para corregir este error se debe realizar un mantenimiento correctivo en los siguientes elementos.

- **Puntos de unión con soldadura exotérmica.**
Se revisará los puntos de unión en las cajas de revisión existentes, detectando las oxidaciones y rupturas en los puntos de unión, para luego realizar un mantenimiento correctivo volviendo a soldar ese tramo la ruptura detectada.
- **Puntos de uniones mediante abrazaderas entre bajantes y picas o varillas de puesta a tierra.**
Se realizar una inspección en todos estos puntos para encontrar anomalías estas pueden ser desconexiones o rupturas por degradación de los anillos o conectores de presión, el mantenimiento correctivo consistirá en cambiar estos conectores en caso de ruptura o reajustar los pernos, dependiendo del caso que se presente.
- **Varillas del sistema de mallas de puesta a tierra.**
Se cavará alrededor de la varilla para descubrirla y así realizar una inspección en la que se determinará el estado físico de la misma, si esta presenta oxidación y degradación, se procederá a cambiar por otra varilla de las mismas dimensiones realizando así un trabajo de mantenimiento correctivo.

Los manuales indican que el mantenimiento se debe realizar periódicamente cada año y un mantenimiento profundo o minucioso cada 5 años.

Caso 2.

Si se trata de un error al dimensionar la malla del sistema de puesta a tierra o un incremento en los valores nominales iniciales del sistema eléctrico (transformadores) se recomienda realizar un nuevo diseño de la malla, a continuación, se enumera 2 opciones con las que se puede mejorar el funcionamiento de la malla de puesta a tierra.

1. Incrementar y extender la dimensión de la malla, para esto debe existir espacio en el suelo donde se puede aumentar un tramo más de la malla de puesta a tierra.
2. Disminuir los espaciamentos del tejido e incrementar picas en las uniones de la malla de puesta a tierra.

Para cualquiera de estas dos opciones primero se realiza un análisis de la malla de puesta tierra en el que se desarrolla cálculos con los valores de funcionamiento de la subestación, con estos resultados se ejecutará una comparación y análisis para poder identificar las fallas puntuales en el dimensionamiento de la malla y poder elegir las soluciones más favorables y accesibles para la empresa.

Primer método de análisis y solución.

Para realizar el incremento de las dimensiones de la malla de puesta a tierra realizaremos un análisis puntual de todos los parámetros de construcción de la malla mediante las formulas y cálculos matemáticos indicados en la norma IEE Std 80-2000, con estos valores podemos comprobar si la malla construida cumple con los estándares de calidad y seguridad. Caso contrario se elegirá una nueva dimensión para la malla y repetiremos los cálculos hasta que esta llegue a los valores requeridos que indica la norma IEE Std 80-2000. Ejemplo opciones para aumentar las dimensiones de la malla figura N° 11.

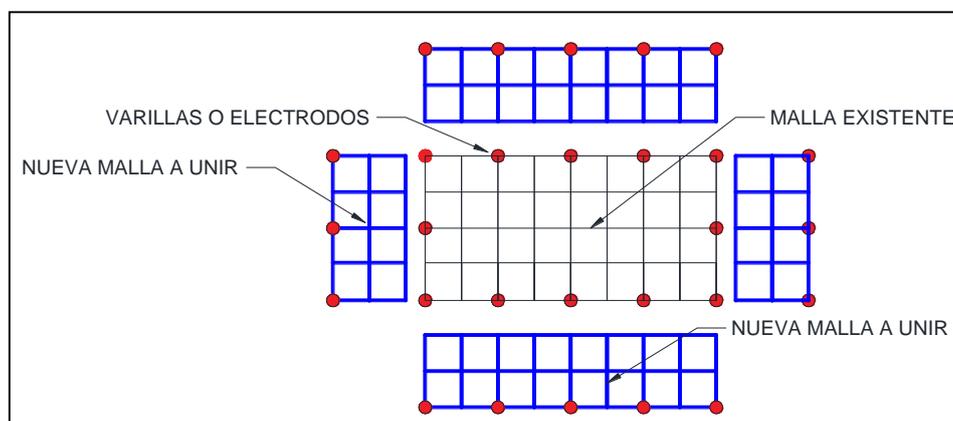


Fig.11: Aumento en la dimensión de la malla de puesta a tierra.

Fuente: Autor

1. Ingreso de los datos y valores que integran la malla y el sistema eléctrico.

Para realizar el análisis ingresaremos los valores actuales con los que opera el sistema eléctrico a examinar, en el siguiente listado se enumera los valores necesarios y nomenclatura que se utiliza en todo el procedimiento de análisis de la malla de puesta a tierra.

Corriente de falla (I_f).

Dimensión de la nueva malla largo ($L1$) x ancho ($L2$).

Área de la malla (A)

Profundidad de enterramiento de la malla (h).

Temperatura ambiente (T_a).

Tiempo de despeje de la falla (t_f).

Temperatura fundición del material de conductor malla cobre 450°C. (T_m).

Espaciamiento de uniones de la malla varía entre 1 a 7 metros (D).

L_c = Longitud de los conductores enterrados (m).

N = Número de varillas.

$I_f(A)$	$\rho (\Omega\cdot m)$.	$t_f (s)$	N	$D(m)$	$A \text{ malla (m}^2)$
900	200	1	6	2	560
$h (m)$	$L1(m)$	$L2(m)$	T_m	T_a	$L_v(m)$
0,5	20	28	450 °	25°	1,8

2. Cálculo del voltaje de contacto y de paso tolerables para el sistema eléctrico.

Estos valores son muy importantes, se utilizan al final para comparar con los valores de paso y contacto de la malla y dependiendo el resultado el dimensionamiento de la malla será el adecuado.

$$V_p = \frac{(1000+6 \times C_s \times \rho_s) \times 0.157}{\sqrt{t_f}} [V]$$

$$V_c = \frac{(1000+1.5 \times C_s \times \rho_s) \times 0.157}{\sqrt{t_f}} [V]$$

Donde:

C_s = Coeficiente en función del terreno y la capa superficial.

ρ_s = Resistencia aparente de la capa superficial ($\Omega\cdot m$).

t_f = Tiempo de despeje de la falla (s).

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \times (1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2 \times h_s + 0.09}$$

Donde:

ρ = Resistividad aparente del terreno tomando como un suelo uniforme (Ω -m).

ρ_s = Resistividad aparente de la capa superficial (Ω -m).

h_s = Espesor de la capa superficial entre 0.1 y 0.5 (m).

Ejemplo:

ρ (Ω -m).	ρ_s (Ω -m).	h_s (m)	t_f (s)
200	600	0,3	1

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \times (1 - \frac{200\Omega m}{600\Omega m})}{2 \times 0.3m + 0.09} \quad C_s = 0.91$$

$$V_p = \frac{(1000 + 6 \times 0.91 \times 600\Omega m) \times 0.157}{\sqrt{1s}} [V] \quad V_p = 671.33V$$

$$V_c = \frac{(1000 + 1.5 \times 0.91 \times 600\Omega m) \times 0.157}{\sqrt{1s}} [V] \quad V_c = 285.5V$$

3. Cálculo del calibre del conductor para la malla de puesta a tierra.

En esta parte del procedimiento se verifica si el calibre con el que está diseñado la malla es el mismo que sugiere o indica los valores obtenidos mediante la siguiente formula.

$$A = \frac{I_f \times k_f \times \sqrt{t_f}}{1.9740} [mm^2]$$

Donde:

I_f = Corriente de falla.

k_f = Valor de conductividad del cobre.

t_f = Tiempo de despeje de la falla.

Ejemplo:

I_f (A)	k_f	t_f (s)	
900	7,06	1	

$$A = \frac{900 \times 7.06 \times \sqrt{1}}{1.9740} [mm^2] \quad A = 32.18mm^2.$$

Nota: Con este valor se busca en la tabla el calibre que corresponda o se aproxime, para este caso es el calibre 2 AWG que corresponde a 33.62mm^2 .

Las normas nacionales (NEC 250-81 Y EQQ) y la norma internacional IEEE Std 80-2000 indican que el mínimo calibre de conductor a utilizarse es el #2AWG(mm^2) de siete hilos.

Con este dato ya se puede realizar una primera comparación al verificar si la malla está construida con el calibre indicado en los cálculos, encontrando o descartando el primer error

o falla en la malla.

4. Cálculo de los coeficientes de irregularidad km, ks, ki.

Estos son valores que se utilizan por la irregularidad de la resistividad del suelo ya que este no es uniforme en su textura y contenido de materiales, en este cálculo intervienen las dimensiones de la malla y el espaciamiento de la misma.

Coeficiente km.

$$k_m = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{D^2}{16hd}\right) + \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \times \dots \times \frac{2n-3}{2n-2}\right).$$

Donde:

d = Diámetro del conductor seleccionado (m).

D = Espaciamiento entre conductores (m).

h = Profundidad de enterramiento de la malla (m).

n = na + nb + nc.

n = factor de geometría.

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p} \quad n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \times \sqrt{A}}} \quad n_c = \left(\frac{L_1 \times L_2}{A}\right)^{\frac{0.7 \times A}{L_1 \times L_2}}$$

$$L_p = (L_1 + L_2)^2 [m]$$

$$L_c = \left(\frac{L_1}{D} + 1\right) L_2 + \left(\frac{L_2}{D} + 1\right) L_1 [m]$$

Ejemplo:

$D(m)$	$h(m)$	$d(m)$	$L1(m)$	$L2(m)$
2	0,5	0,00654	20	28

$$Lp = (20m.+28m.)^2 \qquad Lp = 2304m.$$

$$Lc = \left(\frac{20m.}{2m.} + 1\right) 28 + \left(\frac{28m.}{2m.} + 1\right) 20m. \quad Lc = 608m.$$

$$na = \frac{2 \times 608m.}{2304m.} \qquad nb = \sqrt{\frac{2304m.}{4 \times \sqrt{560}}} \qquad nc = \left(\frac{20m. \times 28m.}{560m.^2}\right) \frac{0.7 \times 560m.^2}{20m. \times 28m.}$$

$$na = 0.52 \qquad nb = 4.93 \qquad nc = 1.$$

$$n = 0.52+4.93+1 \quad n = 6.$$

$$km = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{2^2m.}{16 \times 0.5m. \times 0.00654m.}\right) + \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \times \frac{9}{10}\right). \quad km = 0.464$$

Coefficiente ks.

$$ks = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \dots + \frac{1}{(n-1)D}\right).$$

Donde:

D = Espaciamiento entre conductores (m).

h = Profundidad de enterramiento de la malla (m).

Ejemplo:

$$ks = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2 \times 0.5m.} + \frac{1}{2m.+0.5m.} + \frac{1}{2 \times 2m.} + \frac{1}{3 \times 2m.} + \frac{1}{4 \times 2m.} + \frac{1}{5 \times 2m.}\right). \quad ks = 0.64988$$

Coefficiente ki.

El valor de ki depende de N de la siguiente regla.

$$ki = 0.64 + 0.148n \quad \text{cuando } n \leq 7$$

$$ki = 2 \quad \text{cuando el valor de } n > 8$$

Ejemplo:

n
6

$$k_i = 0.64 + 0.148 \times 6 \quad k_i = 1.52$$

5. Cálculo de la resistencia de la malla.

Es la resistencia que nos ofrece el terreno hacia la corriente en un sistema de puesta a tierra, esta resistencia depende de la resistividad del terreno y área de los conductores.

$$R_m = \frac{0.318 \times \rho \times (2.303 \times \log 2 \times L_t + k_1 \times L_t - k_2)}{L_t \times \sqrt{d} \times 0.5 \times \sqrt{A}} \quad [\Omega]$$

En donde:

R_m = Resistividad de la malla (ohm).

ρ = Resistividad medida del terreno ($\Omega \times m$).

L_t = Longitud total del conductor con las varillas. (m)

d = Diámetro del conductor de la malla (m).

A = Área de la malla (m^2).

k_1 y k_2 = Coeficiente obtenido por formula de Schwartz.

Para la obtención de k_1 y k_2 se emplean las formulas descritas en la siguiente tabla.

Tabla 2 Ecuaciones Para La Curva De Schwartz.

	Curva A	Curva B	Curva C
k1	$k_1 = -\frac{-0,04Lx}{Ly} + 1,41$	$k_1 = -\frac{-0,05Lx}{Ly} + 1,2$	$k_1 = -\frac{-0,05Lx}{Ly} + 1,13$
k2	$k_2 = -\frac{0,15Lx}{Ly} + 5,5$	$k_2 = -\frac{0,1Lx}{Ly} + 4,68$	$k_2 = -\frac{0,05Lx}{Ly} + 4,4$

En donde se utilizan las ecuaciones de la curva de B basado en la siguiente regla.

- La curva B se aplica para profundidades que se aproximen a un valor de profundidad h igual a la décima parte de la raíz de del área que ocupa la malla.

$$h = \frac{1}{10\sqrt{\text{area}}} \quad [\text{m.}]$$

$$k_1 = -\frac{-0.05Lx}{Ly} + 1.2$$

$$k_1 = 1.23$$

$$k_2 = -\frac{-0.1Lx}{Ly} + 14.68$$

$$k_2 = 4.75$$

Ejemplo:

ρ ($\Omega\text{-m}$).	$Lt(m)$	Lc (m)	$k1$	$k2$	$d(m)$	A . malla (m^2)
200	618,8	608	1,23	4,75	0,00654	560

$$R_m = \frac{0.318 \times 200 \Omega\cdot m \cdot x (2.303 \times \log_2 x 618.8m. + 1.23 \times 618.8m. - 4.75)}{618.8m. \times \sqrt{0.00654m.} \times 0.5 \times \sqrt{560m.}} [\Omega] \quad R_m = 0.577 \Omega.$$

Nota. El valor obtenido en R_m debe ser menor a 5Ω para cumplir con las normas de construcción IEEE Std 80-2000.

6. Cálculo de la resistencia de la Red.

Calculamos la resistencia de puesta a tierra R_g en Ω

$$R_g = \rho \times \left[\frac{1}{L_t} + \frac{1}{\sqrt{20 \times A}} \left(1 + \frac{1}{1+h \times \sqrt{20/A}} \right) \right].$$

Donde:

A = Área de la malla en (m^2).

h = Profundidad de enterramiento de los conductores.

ρ = Resistividad del suelo ($\Omega \times m$).

L_t = Longitud total del conductor con las varillas (m).

Ejemplo:

h (m)	ρ ($\Omega\text{-m}$).	$Lt(m)$	A . malla (m^2)
0,5	200	618,8	560

$$R_g = 200\Omega \cdot m \cdot x \left[\frac{1}{618.8m.} + \frac{1}{\sqrt{20 \times 560m.}} \left(1 + \frac{1}{1+0.5m \cdot \sqrt{20/560m}} \right) \right]. \quad R_g = 3.94 \Omega$$

Nota: El valor obtenido en R_g debe ser entre 1 a 5Ω para cumplir con las normas de construcción IEEE Std 80-2000.

7. Cálculo del máximo potencial de tierra y la corriente de falla a tierra.

$$I_g = 0.95 \times I \text{ [A]}$$

$$GPR = I_g \times R_g \text{ [V]}$$

Donde:

R_g = Resistencia de puesta a tierra calculada.

I_g = corriente de falla a tierra (A)

Ejemplo:

$I(A)$	R_g
900	3,94

$$I_g = 0.95 \times 900 \quad I_g = 855A$$

$$GPR = 855 A \times 3.93\Omega \quad GPR = 3368.7V$$

8. Cálculo de las tensiones de paso y contacto de malla en caso de falla.

Tensión de contacto de la malla en caso de falla.

$$V_c = \frac{\rho \times I_g \times K_m \times K_i}{L_c + \left[1.55 + 1.22 \times \left(\frac{L_v}{\sqrt{L_1^2 + L_2^2}} \right) \right] \times N \times L_v}$$

Donde:

ρ = Resistividad del suelo ($\Omega \cdot m$.)

I_g = corriente de falla a tierra (A)

L_c = Longitud de los conductores enterrados (m).

L_v = longitud del electrodo.

N = Número de electros.

Ejemplo:

$\rho (\Omega \cdot m)$.	$I_g(A)$	$L_c (m)$	$L_v(m)$	N
200	855	608	1,8	6

$$V_c = \frac{200 \Omega \cdot m \cdot 855 A \cdot 0.464 \cdot 1.52}{608 + \left[1.55 + 1.22 \cdot \left(\frac{1.8 m}{\sqrt{20^2 m + 28^2 m}} \right) \right] \cdot 6 \cdot 1.8 m} \quad V_c = 336.20V$$

Tensión de paso de la malla en caso de falla.

$$V_p = \frac{\rho \cdot I_g \cdot K_s \cdot K_i}{0.75 \cdot L_c + 0.85 \cdot N \cdot L_v} [V].$$

Donde:

ρ = Resistividad del suelo ($\Omega \cdot m$)

I_g = corriente de falla a tierra (A)

L_c = Longitud de los conductores enterrados (m).

L_v = longitud del electrodo.

N = Número de electros.

Ejemplo:

ρ ($\Omega \cdot m$).	I_g (A)	L_c (m)	L_v (m)	N
200	885	608	1,8	6

$$V_p = \frac{200 \Omega \cdot m \cdot 885 A \cdot 0.649 \cdot 1.52}{0.75 \cdot 608 m + 0.85 \cdot 6 \cdot 1.8 m} [V]. \quad V_p = 375.35V$$

9. Comparación de los valores de voltajes de contacto y paso.

Para que el diseño de la longitud de la malla de puesta a tierra calculada este correcta y cumpla con su función debemos comparar los voltajes calculados de la malla, con valores de voltajes de paso y de contacto permisibles establecidos por la norma IEE Stda 80-2000. La norma nos indica que:

Voltaje de paso tolerable debe ser > Voltaje de paso de la malla calculada ($V_{pt} > V_p$).

$$V_{pT} = 671.33V > V_{pM} = 375.35V \text{ (Si cumple la regla)}$$

Voltaje de contacto tolerable debe ser > Voltaje de contacto de la malla calculada ($V_{ct} > V_c$).

$$V_{cT} = 285.5V > V_{cM} = 336.20V \text{ (No cumple con la regla)}$$

Si estos dos factores están en lo correcto se procederá a realizar la construcción de la nueva malla, caso contrario se realiza un nuevo diseño de la malla aumentando la dimensión de la misma.

SOLUCION:

Al realizar el análisis anterior se observó que la malla no cumplía los parámetros necesarios para disipar la corriente de falla por su sistema, es por eso que se optó por modificar las dimensiones de la misma aumentándola, previo a un breve calculo en un programa de Excel se llegó a la conclusión de incrementar la longitud de la malla de 28m de largo una nueva de 32m, y un aumento de las picas o electrodos de 6 a 10 para comprobar si es correcto el diseño realizaremos una serie de cálculos matemáticos que indica la norma IEEE Std 80-2000 con la finalidad de verificar que el diseño cumple con estas normas de seguridad. El procedimiento matemático sería el siguiente:

1. Ingreso de los datos y valores que integran la malla y el sistema eléctrico.

Para calcular la dimensión de la nueva malla debemos definir algunos valores iniciales los cuales son:

Corriente de falla (I).

Dimensión de la nueva malla largo (L1) x ancho (L2).

Área de la malla (A)

Profundidad de enterramiento de la malla (h).

Temperatura ambiente (Ta).

Tiempo de falla (t).

Temperatura fundición del material de conductor malla cobre 450°C. (Tm).

Espaciamiento de uniones de la malla varía entre 1 a 7 metros (D).

Lc = Longitud de los conductores enterrados (m).

N= Número de varillas.

<i>I(A)</i>	<i>ρ (Ω-m)</i>	<i>t (s)</i>	<i>N</i>	<i>D(m)</i>	<i>A malla (m²)</i>
900	200	1	10	2	896
<i>h (m)</i>	<i>L1(m)</i>	<i>L2(m)</i>	<i>Tm</i>	<i>Ta</i>	<i>Lv(m)</i>
0,5	28	32	450 °	25°	1,8

2. Cálculo del voltaje de contacto y de paso tolerables para la subestación.

ρ ($\Omega\text{-m}$).	ρ_s ($\Omega\text{-m}$).	$hs(m)$	$t(s)$
200	600	0,3	1

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \times (1 - \frac{200\Omega\text{m}}{600\Omega\text{m}})}{2 \times 0.3\text{m} + 0.09} \quad C_s = 0.91$$

$$V_p = \frac{(1000 + 6 \times 0.91 \times 600\Omega\text{m}) \times 0.157}{\sqrt{1s}} [\text{V}] \quad V_p = 671.33\text{V}$$

$$V_c = \frac{(1000 + 1.5 \times 0.91 \times 600\Omega\text{m}) \times 0.157}{\sqrt{1s}} [\text{V}] \quad V_c = 285.5\text{V}$$

3. Cálculo del calibre del conductor para la malla de puesta a tierra.

$I(A)$	kf	$t(s)$
900	7,06	1

$$A = \frac{900 \times 7.06 \times \sqrt{1}}{1.9740} [\text{mm}^2] \quad A = 32.18\text{mm}^2.$$

4. Cálculo de los coeficientes de irregularidad km, ks, ki.

Estos son valores que se utilizan por la irregularidad del piso son valores que se emplean más adelante.

$D(m)$	$h(m)$	$d(m)$	$L1(m)$	$L2(m)$
2	0,5	0,00654	28	32

$$L_p = (28\text{m} + 32\text{m})^2 \quad L_p = 3600\text{m}.$$

$$L_c = \left(\frac{28\text{m}}{2\text{m}} + 1\right) 32 + \left(\frac{32\text{m}}{2\text{m}} + 1\right) 28\text{m} \quad L_c = 956\text{m}.$$

$$n_a = \frac{2 \times 856\text{m}}{3600\text{m}} \quad n_b = \sqrt{\frac{3600\text{m}}{4 \times \sqrt{896}}} \quad n_c = \left(\frac{28\text{m} \times 32\text{m}}{896\text{m}}\right) \frac{0.7 \times 896}{28\text{m} \times 32\text{m}}$$

$$n_a = 0.4755 \quad n_b = 5.4833 \quad n_c = 1.$$

$$n = 0.511 + 5.20 + 1 \quad n = 7$$

$$k_m = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{2^2\text{m}}{16 \times 0.5\text{m} \times 0.00654\text{m}}\right) + \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \times \frac{9}{10} \times \frac{11}{12}\right). \quad k_m = 0.43$$

$$k_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2 \times 0.5m} + \frac{1}{2m.+0.5m} + \frac{1}{2 \times 2m} + \frac{1}{3 \times 2m} + \frac{1}{4 \times 2m} + \frac{1}{5 \times 2m} + \frac{1}{6 \times 2m} \right). \quad k_s = 0.67$$

$$k_i = 0.64 + 0.148 \times 7 \quad k_i = 1.67$$

5. Cálculo de la resistencia de la malla.

ρ (Ω -m).	$Lt(m)$	Lc (m)	$k1$	$k2$	$d(m)$	A. malla (m^2)
200	974	956	1,23	4,75	0,00654	896

$$R_m = \frac{0.318 \times 200 \Omega.m. \times (2.303 \times \log 2 \times 974m. + 1.23 \times 974m. - 4.75)}{974m. \times \sqrt{0.00654m.} \times 0.5 \times \sqrt{896m.}} [\Omega] \quad R_m = 0.309\Omega$$

6. Cálculo de la resistencia de la Red.

h (m)	ρ (Ω -m).	$Lt(m)$	A. malla (m^2)
0,5	200	974	896

$$R_g = 200\Omega.m. \times \left[\frac{1}{974m.} + \frac{1}{\sqrt{20 \times 896m.}} \left(1 + \frac{1}{1+0.5m.x \sqrt{20/896m}} \right) \right]. \quad R_g = 3.08 \Omega$$

7. Cálculo del máximo potencial de tierra y la corriente de falla a tierra.

$I_f(A)$	R_g
900	3,08

$$I_g = 0.95 \times 900 \quad I_g = 855A$$

$$GPR = 855 A \times 3.08\Omega \quad GPR = 2633.4V$$

8. Cálculo de las tensiones de paso y contacto de malla en caso de falla.

Tensión de contacto de la malla en caso de falla.

ρ (Ω -m).	$I_g(A)$	Lc (m)	$Lv(m)$	N
200	855	956	1,8	10

$$V_c = \frac{200\Omega.m.) \times 855A.x 0.43 \times 1.67}{956 + \left[1.55 + 1.22 \times \left(\frac{1.8m.}{\sqrt{28^2m.+32^2m.}} \right) \right] \times 10 \times 1.8m} [V] \quad V_c = 124.68V$$

$$V_p = \frac{200 \Omega.m. \times 885A \times 0.67 \times 1.67}{0.75 \times 956m.+0.85 \times 10 \times 1.8m} [V]. \quad V_p = 276.21V$$

9. Comparación de los valores de voltajes de contacto y paso.

Para que el diseño de la longitud de la malla de puesta a tierra calculada este correcta y cumpla con su función debemos comparar los voltajes calculados de la malla, con valores de voltajes de paso y de contacto permisibles establecidos por la norma IEEE Std 80-2000. La norma nos indica que:

Voltaje de paso tolerable debe ser > Voltaje de paso de la malla calculada ($V_{pT} > V_{pM}$).

$V_{pT} = 671.33V > V_{pM} = 276.21V$ (Si cumple la regla).

Voltaje de contacto tolerable debe ser > Voltaje de contacto de la malla calculada ($V_{cT} > V_{cM}$).

$V_{cT} = 285.5V > V_{cM} = 124.68V$ (Si cumple la regla).

Con la aprobación de la nueva malla se procede a unir el nuevo tramo de malla a la malla existente, mediante una unión en paralelo entre las dos mallas, soldando en dos puntos la malla con suelda exotérmica, en la gráfica se muestra una imagen figura N° 12 y figura N° 13 cómo quedaría la nueva malla.

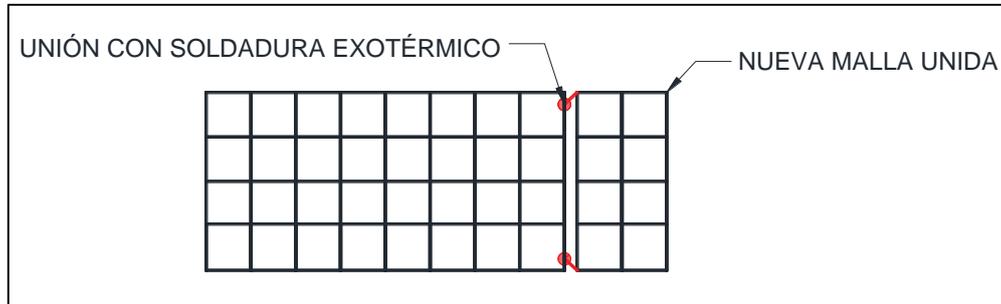


Fig. 12: Unión en dos puntos de la nueva malla a tierra mediante suelda exotérmica.
Fuente: Autor

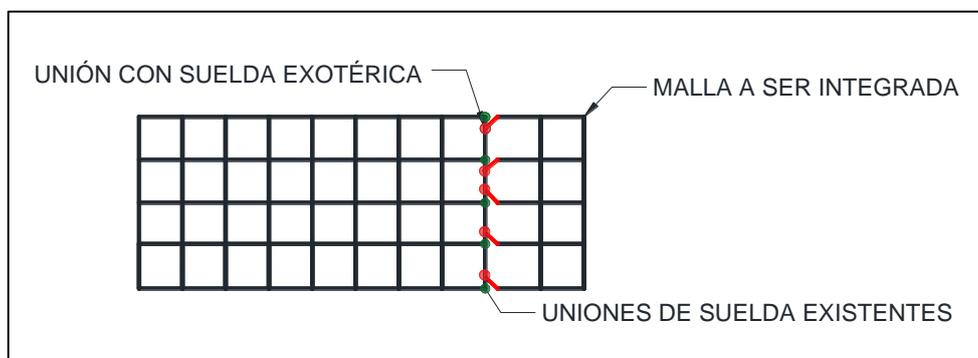


Fig.13: Unión en varios puntos de la nueva malla a tierra mediante suelda exotérmica.
Fuente: Autor.

Segundo método de análisis y solución.

En la determinada situación de no poder aumentar o incrementar las dimensiones de la malla por razones de espacio en la subestación como se muestra en la figura 14. La solución es incrementar la dimensión total de la malla mediante la reducción de los espacios entre uniones o espaciamiento de la malla. La norma nos dice que el espaciamiento de la malla está dentro del rango de 1 a 7m.

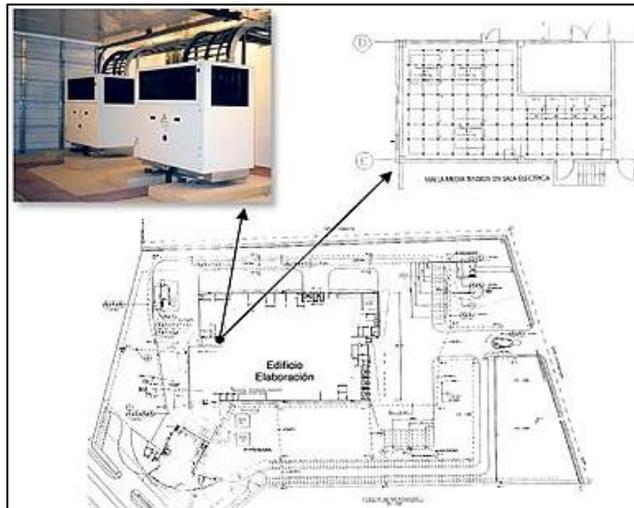


Fig. 14: Cobertura total de malla en una subestación.
Fuente: Internet

Podemos aumentar cuadrículas por ejemplo si la malla tiene espacios de 3 metros figura N° 15, se los podría reducir a la mitad el espaciamiento a 1.5m disminuyendo así la resistencia de la malla figura N° 16.

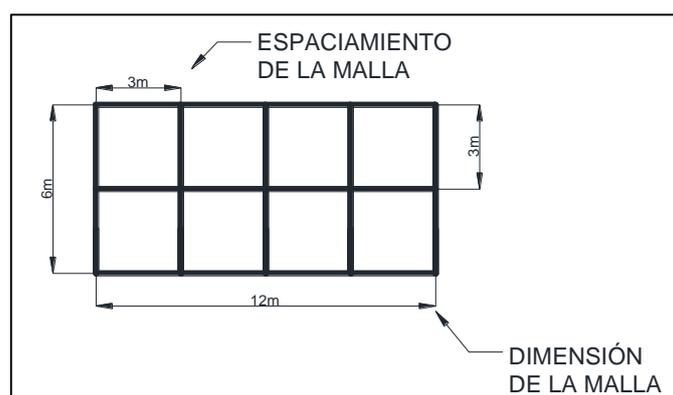


Fig. 15: Malla de puesta a tierra con espaciamientos de 3m.
Fuente: Autor

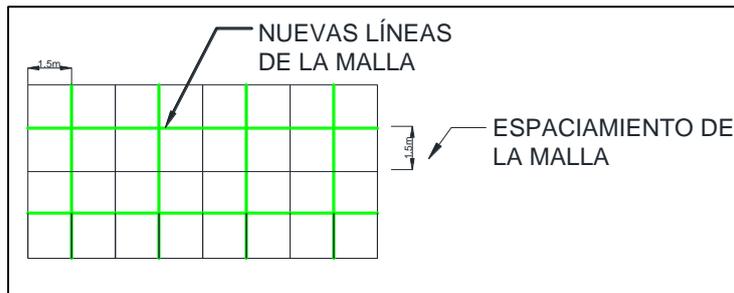


Fig. 16 Modificación de la malla con nuevos espaciamientos de 1.5m.
Fuente: Autor

También podemos incrementar el número de varillas o picas en la malla esto aumentara la dimensión total de la malla disminuyendo así la resistividad de la malla, para el incremento de la malla existe una regla establecida por la norma EEQ.

- El espaciamiento entre electrodos tipo varilla de ser por lo menos dos veces la longitud del electrodo.

En la norma IEEE Std 80-2000.

- Los electrodos se pueden instalar cada dos espacios en la periferia de la malla.
- Instalar electrodos cerca de los elementos a aterrizar como el transformador.

Para realizar el mejoramiento realizamos una serie de cálculos con los que se va comprobar paso a paso los resultados, con la finalidad de no realizar una sobredimensión al incremento de la malla, de esta manera se debe seguir los siguientes pasos.

1. Ingreso de los datos y valores que integran la malla y el sistema eléctrico.

Para realizar el análisis de la malla existente tomaremos los datos de la misma, para luego mediante cálculos ir buscando los errores puntuales y así buscar soluciones eficientes. La información que necesitamos es la siguiente:

Corriente de falla (I_f).

Dimensión de la nueva malla largo (L_1) x ancho (L_2).

Área de la malla (A)

Profundidad de enterramiento de la malla (h).

Temperatura ambiente (T_a).

Tiempo de falla (t_f).

Temperatura fundición del material de conductor malla cobre 450°C . (T_m).

Espaciamiento de uniones de la malla varía entre 1 a 7 metros (D).

Lc = Longitud de los conductores enterrados (m).

N= Número de varillas.

<i>If(A)</i>	<i>ρ (Ω-m).</i>	<i>tf (s)</i>	<i>N</i>	<i>D(m)</i>	<i>A malla (m²)</i>
900	100	1	10	3	560
<i>h (m)</i>	<i>L1(m)</i>	<i>L2(m)</i>	<i>Tm</i>	<i>Ta</i>	<i>Lv(m)</i>
0,5	28	20	450°	25°	1,8

2. Cálculo de los voltajes de contacto y de paso tolerables para la subestación.

<i>ρ (Ω-m).</i>	<i>ρs (Ω-m).</i>	<i>hs(m)</i>	<i>tf(s)</i>
100	400	0,3	1

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \times (1 - \frac{100\Omega m}{400\Omega m})}{2 \times 0.3m + 0.09} \quad C_s = 0.90$$

$$V_p = \frac{(1000 + 6 \times 0.90 \times 400\Omega m) \times 0.157}{\sqrt{1s}} [V] \quad V_p = 496.12V$$

$$V_c = \frac{(1000 + 1.5 \times 0.91 \times 400\Omega m) \times 0.157}{\sqrt{1s}} [V] \quad V_c = 241.78V$$

3. Cálculo del calibre del conductor para la malla de puesta a tierra.

<i>If(A)</i>	<i>kf</i>	<i>tf(s)</i>	
900	7,06	1	

$$A = \frac{900 \times 7.06 \times \sqrt{1}}{1.9740} [mm^2] \quad A = 32.18mm^2.$$

4. Cálculo de los coeficientes de irregularidad km, ks, ki.

Estos son valores que se utilizan por la irregularidad del piso son valores que se emplean más adelante.

<i>D(m)</i>	<i>h(m)</i>	<i>d(m)</i>	<i>L1(m)</i>	<i>L2(m)</i>
3	0,5	0,00654	28	20

$$L_p = (28m. + 20m.)^2 \quad L_p = 2304m.$$

$$L_c = \left(\frac{28m.}{3m.} + 1\right) 20 + \left(\frac{20m.}{3m.} + 1\right) 28m. \quad L_c = 421.333m.$$

$$n_a = \frac{2 \times 421.33m.}{2304m.} \quad n_b = \sqrt{\frac{2304m.}{4 \times \sqrt{560}}} \quad n_c = \left(\frac{28m. \times 20m.}{560m.}\right) \frac{0.7 \times 560}{28m. \times 20m.}$$

$$n_a = 0.365 \quad n_b = 4.933 \quad n_c = 1.$$

$$n = 0.365 + 4.933 + 1 \quad n = 6.29$$

$$k_m = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{3^2m.}{16 \times 0.5m. \times 0.00654m.}\right) + \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \times \frac{9}{10}\right). \quad k_m = 0.593$$

$$k_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2 \times 0.5m} + \frac{1}{3m.+0.5m} + \frac{1}{2 \times 3m} + \frac{1}{3 \times 3m} + \frac{1}{4 \times 3m} + \frac{1}{5 \times 3m} \right) \quad k_s = 0.54$$

$$k_i = 0.64 + 0.148 \times 6 \quad k_i = 1.52$$

5. Cálculo de la resistencia de la malla.

ρ (Ω -m).	$Lt(m)$	$Lc(m)$	$k1$	$k2$	$d(m)$	$A. malla (m^2)$
100	440	421,33	1,23	4,75	0,00654	560

$$R_m = \frac{0.318 \times 100 \Omega.m. \times (2.303 \times \log 2 \times 440m. + 1.23 \times 440m. - 4.75)}{440m. \times \sqrt{0.00654m.} \times 0.5 \times \sqrt{560m.}} [\Omega] \quad R_m = 0.387\Omega.$$

6. Cálculo de la resistencia de la Red.

$h(m)$	ρ (Ω -m).	$Lt(m)$	$A. malla (m^2)$
0,5	100	440	560

$$R_g = 100\Omega.m. \times \left[\frac{1}{440m.} + \frac{1}{\sqrt{20 \times 560m.}} \left(1 + \frac{1}{1+0.5m.x \sqrt{20/560m}} \right) \right]. \quad R_g = 2.03\Omega.$$

7. Cálculo del máximo potencial de tierra y la corriente de falla a tierra.

$I_f(A)$	R_g
900	2,03

$$I_g = 0.95 \times 900A \quad I_g = 855A$$

$$GPR = 855 A \times 2.03\Omega \quad GPR = 1735.65V$$

8. Cálculo de las tensiones de paso y contacto de malla en caso de falla.

Tensión de contacto de la malla en caso de falla.

ρ (Ω -m).	$I_g(A)$	$Lc(m)$	$Lv(m)$	N
100	855	421,33	1,8	10

$$V_c = \frac{100\Omega.m.) \times 855A. \times 0.593 \times 1.52}{421.33 + \left[1.55 + 1.22 \times \left(\frac{1.8m.}{\sqrt{28^2m.+20^2m.}} \right) \right] \times 10 \times 1.8m} [V] \quad V_c = 251.114V$$

$$V_p = \frac{100 \Omega.m. \times 885A \times 0.54 \times 1.52}{0.75 \times 421m.+0.85 \times 10 \times 1.8m} [V]. \quad V_p = 259.26V$$

9. Comparación de los valores de voltajes de contacto y paso.

Voltaje de paso tolerable debe ser > Voltaje de paso de la malla calculada ($V_{pt} > V_p$).

$V_{pT} = 496.12V > V_{pM} = 259.26V$ (Si cumple la regla).

Voltaje de contacto tolerable debe ser > Voltaje de contacto de la malla calculada ($V_{ct} > V_c$).

$V_{cT} = 241.1V > V_{cM} = 251.12V$ (No cumple la regla).

Con este análisis se puede ver que la falla es de error de dimensionamiento por lo tanto hay que mejorar el sistema de mallas de tierra, simulando un nuevo dimensionamiento para la malla y comprobar si esta cumple con las normas IEEE Std 80-2000 establecidas mediante el mismo procedimiento de cálculos matemáticos.

SOLUCIÓN:

Al realizar el análisis anterior se observó que la malla no cumplía los parámetros necesarios para disipar la corriente de falla por su sistema, es por eso que se optó por modificar la estructura de la malla mediante la disminución del espaciamiento para incrementar el tejido de la malla y así esta tenga más secciones para disipar las corrientes de falla y voltajes de contacto y paso, previo a un breve calculo en un programa de Excel se llegó a la conclusión de reducir el espaciamiento de 3 metros a 1 metro y aumentar el número de varillas de puesta a tierra de 10 unidades a 30 unidades, para comprobar si es correcto el diseño realizaremos una serie de cálculos matemáticos que indica la norma IEEE Std 80-2000 con la finalidad de verificar que el diseño cumple con estas normas de seguridad. El procedimiento matemático es el siguiente:

1. Ingreso de los datos y valores que integran la malla y el sistema eléctrico.

Corriente de falla (I).

Dimensión de la nueva malla largo (L1) x ancho (L2).

Área de la malla (A)

Profundidad de enterramiento de la malla (h).

Temperatura ambiente (T_a).

Tiempo de falla (t).

Temperatura fundición del material de conductor malla cobre $450^\circ C$. (T_m).

Espaciamiento de uniones de la malla varía entre 1 a 7 metros (D).

L_c = Longitud de los conductores enterrados (m).

N= Número de varillas.

<i>If(A)</i>	<i>ρ (Ω-m).</i>	<i>tf(s)</i>	<i>N</i>	<i>D(m)</i>	<i>A malla (m²)</i>
900	100	1	30	1	560
<i>h (m)</i>	<i>L1(m)</i>	<i>L2(m)</i>	<i>Tm</i>	<i>Ta</i>	<i>Lv(m)</i>
0,5	28	20	450°	25°	1,8

2. Cálculo de los voltajes de contacto y de paso tolerables para la subestación.

<i>ρ (Ω-m).</i>	<i>ρs (Ω-m).</i>	<i>hs(m)</i>	<i>tf(s)</i>
100	400	0,3	1

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \times (1 - \frac{100\Omega m}{400\Omega m})}{2 \times 0.3m + 0.09} \quad C_s = 0.91$$

$$V_p = \frac{(1000 + 6 \times 0.91 \times 400\Omega m) \times 0.157}{\sqrt{1s}} [V] \quad V_p = 496.12V$$

$$V_c = \frac{(1000 + 1.5 \times 0.91 \times 400\Omega m) \times 0.157}{\sqrt{1s}} [V] \quad V_c = 241.78V$$

3. Cálculo del calibre del conductor para la malla de puesta a tierra.

<i>If(A)</i>	<i>kf</i>	<i>tf(s)</i>	
900	7,06	1	

$$A = \frac{900 \times 7.06 \times \sqrt{1}}{1.9740} [mm^2] \quad A = 32.18mm^2.$$

4. Cálculo de los coeficientes de irregularidad km, ks, ki.

<i>D(m)</i>	<i>h(m)</i>	<i>d(m)</i>	<i>L1(m)</i>	<i>L2(m)</i>
1	0,5	0,00654	28	20

$$L_p = (28m. + 20m.)^2 \quad L_p = 2034m.$$

$$L_c = \left(\frac{28m.}{1m.} + 1\right) 20 + \left(\frac{20m.}{1m.} + 1\right) 28m. \quad L_c = 1168m.$$

$$n_a = \frac{2 \times 1168m.}{2034m.} \quad n_b = \sqrt{\frac{2034m.}{4 \times \sqrt{560}}} \quad n_c = \left(\frac{28m. \times 20m.}{560m}\right) \frac{0.7 \times 560}{28m. \times 20m.}$$

$$n_a = 1.14 \quad n_b = 4.63 \quad n_c = 1.$$

$$n = 1.14 + 4.63 + 1 \quad n = 7$$

$$k_m = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{2^2 m.}{16 \times 0.5 m. \times 0.00654 m.}\right) + \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \times \frac{9}{10} \times \frac{11}{12}\right). \quad k_m = 0.43$$

$$k_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2 \times 0.5 m.} + \frac{1}{2 m. + 0.5 m.} + \frac{1}{2 \times 2 m.} + \frac{1}{3 \times 2 m.} + \frac{1}{4 \times 2 m.} + \frac{1}{5 \times 2 m.} + \frac{1}{6 \times 2 m.} \right). \quad k_s = 0.67$$

$$k_i = 0.64 + 0.148 \times 7 \quad k_i = 1.67$$

5. Cálculo de la resistencia de la malla.

ρ (Ω -m).	Lt (m)	Lc (m)	$k1$	$k2$	d (m)	A . malla (m^2)
100	1222	1168	1,23	4,75	0,00654	560

$$R_m = \frac{0.318 \times 100 \Omega \cdot m. \times (2.303 \times \log 2 \times 1222 m. + 1.23 \times 1222 m. - 4.75)}{1222 m. \times \sqrt{0.00654 m.} \times 0.5 \times \sqrt{560 m.}} [\Omega] \quad R_m = 0.159 \Omega$$

6. Cálculo de la resistencia de la Red.

h (m)	ρ (Ω -m).	Lt (m)	A . malla (m^2)
0,5	100	1222	560

$$R_g = 100 \Omega \cdot m. \times \left[\frac{1}{1222 m.} + \frac{1}{\sqrt{20} \times 560 m.} \left(1 + \frac{1}{1 + 0.5 m. \times \sqrt{20/560 m.}} \right) \right]. \quad R_g = 1.89 \Omega$$

7. Cálculo del máximo potencial de tierra y la corriente de falla a tierra.

I (A)	R_g
900	3,08

$$I_g = 0.95 \times 900 \quad I_g = 855 A$$

$$GPR = 855 A \times 1.89 \Omega \quad GPR = 1615.95 V$$

8. Calcular las tensiones de paso y contacto de malla en caso de falla.

Tensión de contacto de la malla en caso de falla.

ρ (Ω -m).	I_g (A)	Lc (m)	Lv (m)	N
100	855	1168	1,8	30

$$V_c = \frac{100 \Omega \cdot m. \times 855 A \times 0.43 \times 1.67}{1168 + \left[1.55 + 1.22 \times \left(\frac{1.8 m.}{\sqrt{28^2 m. + 20^2 m.}} \right) \right] \times 30 \times 1.8 m.} [V] \quad V_c = 128.68 V$$

$$V_p = \frac{200 \Omega.m. \times 885A \times 0.67 \times 1.67}{0.75 \times 956m. + 0.85 \times 10 \times 1.8m} [V].$$

$$V_p = 336.21V$$

9. Comparación de los valores de voltajes de contacto y paso.

Voltaje de paso tolerable debe ser > Voltaje de paso de la malla calculada ($V_{pt} > V_p$).

$$V_{pT} = 496.94V > V_{pM} = 336.21V \text{ (Si cumple la regla).}$$

Voltaje de contacto tolerable debe ser > Voltaje de contacto de la malla calculada ($V_{ct} > V_c$).

$$V_{cT} = 241.98V > V_{cM} = 128.68V \text{ (Si cumple la regla).}$$

Con la aprobación de la nueva malla se procede soldar los nuevos espaciamentos en la parte interna de malla, también se colocará las nuevas varillas o electrodos tal como indica la norma de construcción, tanto para posicionamiento como para unión a los conductores de la malla. En la figura N° 16 se muestra un ejemplo del nuevo diseño de la malla.

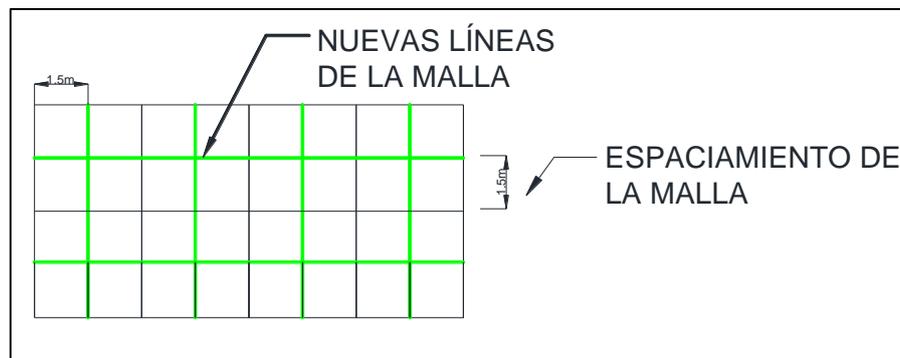


Fig. 16 Modificación de la malla con nuevos espaciamientos de 1.5m.
Fuente: Autor

7. Anexos.

Anexo N° 1. Hojas para registrar los valores de Medición.

<i>Institución o Empresa</i>		<i>Objetivo de la Medición</i>				
<i>Fecha</i>		<i>Estado del Terreno</i>				
<i>Dirección</i>						
<i>Instalación</i>		<i>Temperatura Ambiente</i>				
1	Características del Instrumento Utilizado					
Telurómetro Marca		Frecuencia				
Método de Medición	Caída de potencial	Precisión				
2	Valores a registrar para realizar la Medición.					
Dirección o Trayectoria de Medición 1		Distancia de los Electrodo.	E-P1:	E-P2:	E-P2.1:	E-P2.2:
Dirección o Trayectoria de Medición 2		Distancia de los Electrodo.	E-P1:	E-P2:	E-P2.1:	E-P2.2:
Dirección o Trayectoria de Medición 3		Distancia de los Electrodo.	E-P1:	E-P2:	E-P2.1:	E-P2.2:
3	Valores obtenidos de las Mediciones del terreno.					
	Resistencia 1		Resistencia Equivalente del Sistema de puesta a Tierra.			
	Resistencia 2					
	Resistencia 3					
	Resistencia 4					
4	Comentarios acerca de la practica		5	Análisis de Resultado		
6	Recomendaciones		7	Personal que intervino en las mediciones.		
				Responsable de la Medición.		
				Supervisor y Fiscalizador de la Medición		

<i>Institución o Empresa</i>		<i>Objetivo de la Medición</i>		
<i>Fecha</i>		<i>Estado del Terreno</i>		
<i>Dirección</i>				
<i>Instalación</i>		<i>Temperatura Ambiente</i>		
1	Características del Instrumento Utilizado			
Telurómetro Marca		Frecuencia		
Método de Medición	Caida de potencial	Precisión		
2	Valores a registrar para realizar la Medición.			
Electrodo 1		Distancia de los Electrodos.	E-P1:	E-P2:
Electrodo 2		Distancia de los Electrodos.	E-P1:	E-P2:
Electrodo 3		Distancia de los Electrodos.	E-P1:	E-P2:
Electrodo 4		Distancia de los Electrodos.	E-P1:	E-P2:
Electrodo 5		Distancia de los Electrodos.	E-P1:	E-P2:
Electrodo 6		Distancia de los Electrodos.	E-P1:	E-P2:
Electrodo 7		Distancia de los Electrodos.	E-P1:	E-P2:
Electrodo 8		Distancia de los Electrodos.	E-P1:	E-P2:
Electrodo 9		Distancia de los Electrodos.	E-P1:	E-P2:
3	Valores obtenidos de las Mediciones del terreno.			
Resistencia 1		Resistencia Equivalente del Sistema de mallas de puesta a Tierra.		
Resistencia 2				
Resistencia 3				
Resistencia 4				
Resistencia 5				
Resistencia 6				
Resistencia 7				
Resistencia 8				
Resistencia 9				
4	Comentarios acerca de la practica		5	Análisis de Resultado
6	Recomendaciones		7	Personal que intervino en las mediciones.
			Responsable de la Medición.	
			Supervisor y Fiscalizador de la Medición	

<i>Institución o Empresa</i>		<i>Objetivo de la Medición</i>			
<i>Fecha</i>		<i>Estado del Terreno</i>			
<i>Dirección</i>					
<i>Instalación</i>		<i>Temperatura Ambiente</i>			
1	Características del Instrumento Utilizado				
Telurómetro Marca		Frecuencia			
Método de Medición	Wenner	Precisión			
2	Valores a registrar para realizar la Medición.				
Dirección o Trayectoria de Medición 1		Distancia de los Electrodo.	C1-P1:	P1-P2:	P2-C2:
Dirección o Trayectoria de Medición 2		Distancia de los Electrodo.	C1-P1:	P1-P2:	P2-C2:
Dirección o Trayectoria de Medición 3		Distancia de los Electrodo.	C1-P1:	P1-P2:	P2-C2:
Dirección o Trayectoria de Medición 4		Distancia de los Electrodo.	C1-P1:	P1-P2:	P2-C2:
3	Valores obtenidos de las Mediciones del terreno.				
	Resistividad 1		Resistividad Equivalente de suelo.		
	Resistividad 2				
	Resistividad 3				
	Resistividad 4				
4	Comentarios acerca de la practica		5	Análisis de Resultado	
6	Recomendaciones			7	Personal que intervino en las mediciones.
				Responsable de la Medición.	
				Supervisor y Fiscalizador de la Medición	

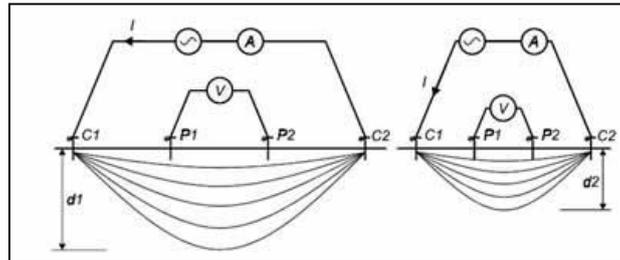
Anexo N° 2. Tabla de valores de la resistividad del terreno.

Resistividad en función de la naturaleza del terreno	
Naturaleza del Terreno	Resistividad(Ω,m)
Terrenos Pantanosos	De unas unidades a 30
Lodo	de 20 a 100
Humus	de 10 a 150
Margas del Jurásico	de 30 a 40
Arena Arcillosa	de 50 a 500
Arena Silíceas	de 200 a 3000
Terreno pedregoso desnudo	de 1500 a 3000
Terreno pedregoso recubierto de césped	de 300 a 500
Calizas Tiernas	de 100 a 300
Calizas agrietadas	de 500 a 1000
Micacita	800
Granitos y areniscas	de 1500 a 10000

Anexo N° 3. Método de medición de la resistividad del suelo.

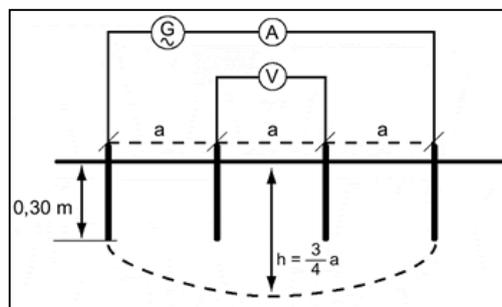
Método De Wenner.

Para utilizar el método Wenner y tener unos datos confiables es necesario colocar todas las medidas de las varillas o picas equidistantes entre si sea profundidad de las picas y distancia entre ellas.



Realizar varias medidas en diferentes ángulos de posición con la intención de cubrir todo el espacio de terreno en el cual se planea instalar el sistema de puesta a tierra.

Se sugiere que la distancia de profundidad de los electrodos sea entre 30cm a 50cm, y las distancias entre picas varían de 1m a los 30m según la superficie que se va a cubrir en el proceso de medición.



Una vez definitivo los valores de las distancias y obtenido los valores de la medición se puede calcular el valor de la resistividad de terreno utilizando la siguiente ecuación.

$$\rho = \frac{4 \cdot \pi \cdot A \cdot R}{\left\{ 1 + \left[\frac{2 \cdot A}{(A^2 + 4B^2)^{0.5}} \right] - \frac{2 \cdot A}{(4 \cdot A^2 + 4B^2)^{0.5}} \right\}}$$

Donde.

ρ : Resistividad promedio a la profundidad (A) en ohm-m.

A: Distancia entre los electrodos en metros.

B: Profundidad de enterrado de los electrodos en metros.

R: Lectura o valor de medición de Telurómetro.

Si la distancia enterrada (b) es pequeña comparada con la distancia de separación entre electrodos (a), es decir si $a > 20b$ podemos aplicar la siguiente fórmula simplificada:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot A \cdot R$$

Ejemplo:

Si la distancia entre electrodos "a" es de 3 metros, "b" es 0.15 m y la lectura del instrumento es de 0.43 ohm, la resistividad promedio del terreno a una profundidad de 3 metros, es de 8.141 ohm-m según la fórmula completa y de 8.105 ohm-m según la fórmula simplificada.

Anexo N° 4. Ejemplo para ingreso de los valores en la hoja de registro de datos.

Institución o Empresa	EMELNORTE S.A.	Objetivo de la Medición	<i>Análisis de la Resistividad del suelo</i>		
Fecha	14/01/2019	Estado del Terreno	<i>Húmedo</i>		
Dirección	Otavaló-Ciudadela Collahuazo etapa 2-- Calle Luis Alberto de la Torre				
Instalación	<i>Puesta a tierra en Línea aérea de alimentación subestacion San Vicente poste (IP3)</i>	Temperatura Ambiente	<i>15° Centígrados</i>		
1	Características del Instrumento Utilizado				
Telurómetro Marca	TELURÍMETRO (Saturn GEO LEM)	Frecuencia	<i>105Hz</i>		
Método de Medición	Wenner	Precisión	<i>±2%</i>		
2	Valores a registrar para realizar la Medición.				
Dirección o Trayectoria de Medición 1	<i>Norte-Sur</i>	Distancia de los Electrodo.	C1-P1: 15m	P1-P2: 15m	P2-C2: 15m
Dirección o Trayectoria de Medición 2	<i>Este-Oeste</i>	Distancia de los Electrodo.	C1-P1: 15m	P1-P2: 15m	P2-C2: 15m
Dirección o Trayectoria de Medición 3	<i>Derivación 45 ° Trayectoria 1</i>	Distancia de los Electrodo.	C1-P1: 5m	P1-P2: 5m	P2-C2: 5m
Dirección o Trayectoria de Medición 4	<i>Derivación -45 ° Trayectoria 1</i>	Distancia de los Electrodo.	C1-P1: 5m	P1-P2: 5m	P2-C2: 5m
3	Valores obtenidos de las Mediciones del terreno.				
	Resistividad 1	<i>75,4</i>	Resistividad Equivalente de suelo $\Omega.m$	<i>76,475</i>	
	Resistividad 2	<i>70,3</i>	Tipos de terreno	Resistividad del terreno	
				Margen de valores	Valor medio
	Resistividad 3	<i>60,8</i>	Terreno pantanoso	2--50	30
			Humus	10--150	60
	Resistividad 4	<i>63,4</i>	Terreno fangoso	20--200	100
4	Comentarios acerca de la practica		5	Análisis de Resultado	
	<i>Ninguno</i>			<i>Debido a que en el suelo existe gran cantidad de piedra la resistencia del suelo no es uniforme</i>	
6	Recomendaciones		7	Personal que intervino en las mediciones.	
	<i>Realizar tratamiento para disminuir la resistividad del piso</i>			Responsable de la Medición.	
				Supervisor y Fiscalizador de la Medición	

Anexo N° 5. Descripción de materiales.

Descripción de los materiales que se utilizan para reducir la resistividad del suelo.

Yeso: Por sus características de baja solubilidad no se desintegra ni se desprende al lavarse por el agua lluvia, esta mezcla es uniforme y compacta, otra característica es su baja resistividad eléctrica que varía entre 5-10ohm-metros y es virtualmente neutra por su valor de pH de 6,2 a 6,9.

Bentonita: se lo puede clasificar como arcilla de formación natural, su valor de pH es de 10.5. la característica principal de este material es que puede absorber y retener 5 veces su peso en agua sin sufrir ninguna alteración en su composición, lo que lo convierte en un potente conservador de humedad, no provoca oxidación y su valor resistivo es de 5ohm-metros.

Marconita: es una mezcla elaborada tipo concreto en el que se utiliza carbonaceo, tiene un parecido muy similar con la bentonita provoca poca corrosión, sus características son excelentes ya que su resistividad es de 0.1ohm-metro puede conservar su humedad en condiciones ambientales secas o veraniegas, es utilizado para rellenar espacio rocosos con la finalidad de poder cubrir alrededor del electrodo o pica enterrado, también se la utiliza para crear pisos antiestáticos y apantallamientos antimagnéticos.

Anexo N°6. Método de caída de tensión.

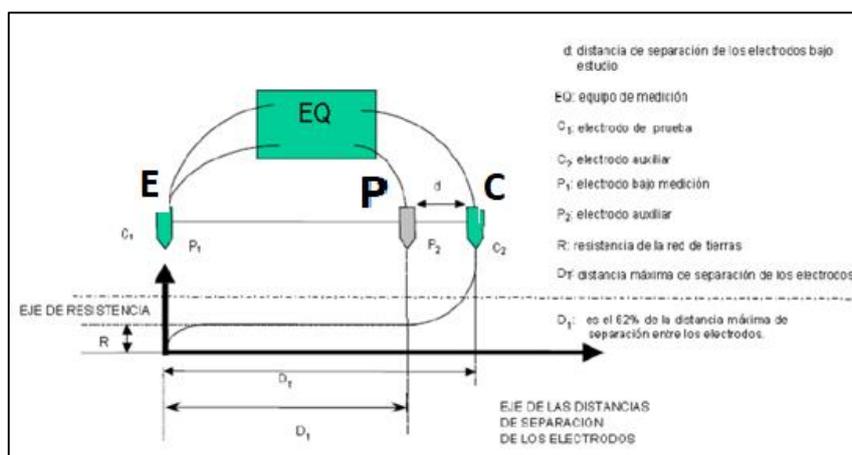
Método para medir la resistencia de un sistema de puesta a tierra varilla o pica.

Caída de Potencial

Este método es el más común para pruebas de valores de resistencia de los sistemas de puesta a tierra, también es conocido como método de 3 picas, método de 3 puntos o el método del 62%.

Este método consiste en inyectar corriente y voltaje por dos electrodos o picas el primero se conecta al sistema de puesta a tierra existente llamado punto **E**, y el segundo electrodo auxiliar llamado **C** el cual será incorporado por la persona que realice las mediciones.

Este procedimiento consiste en medir la caída de potencial mediante otro electrodo auxiliar denominado **P**, también colocado por la persona que va realizar las mediciones. Conociendo los 2 valores corriente y voltaje se puede obtener el valor de la resistencia mediante la ley de Ohm. Su configuración y conexión se puede ver en la figura.

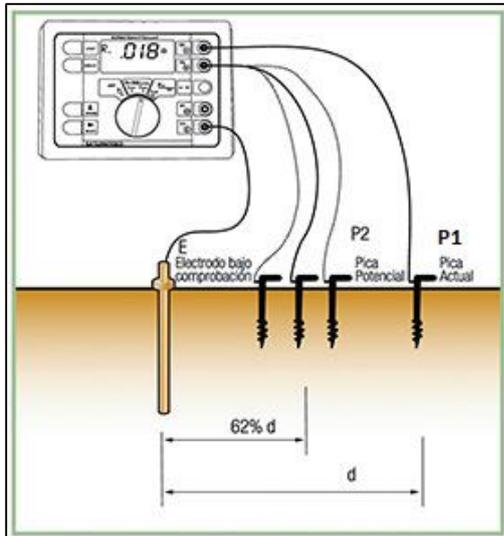


A continuación, se explica con un ejemplo como realizar este procedimiento para medir.

Los electrodos o varillas **C** y **P** deben estar enterrado o incrustados en el suelo a una profundidad entre 50 a 60 cm estos deben estar firmes y en una trayectoria lo mayormente posible recta para tener una excelente lectura de la resistencia.

La distancia entre el electrodo **E** y **C** de medición o prueba y el electrodo auxiliar debe ser de 20 a 30 m con la finalidad que entre estos dos electrodos no exista alguna interconexión al momento de inyectar la corriente.

La distancia del tercer electrodo **P** en referencia al electrodo **E** deber tener el valor del 62% de la distancia total entre **C** y **E** a continuación, se muestra un ejemplo.



Tenemos los puntos E, P1, P2.

La distancia entre E y P1= 25m = Y

La distancia entre E y P2 debe ser el 62% de la distancia de Y.

Entonces calculamos mediante la fórmula.

$$X = \frac{62 \times 25}{100}$$

$$X = 15.5\text{m}$$

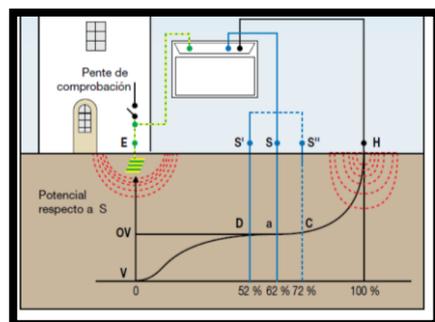
Entonces la distancia de

E a P2 = 15.5m.

Equivale al 62% de la distancia entre los electrodos E, P1.

Una vez definida las distancias se enterramos las picas o electrodos, se procede a conectar los cables y el Telurómetro para realizar la medición.

La distancia del electrodo **P** es variable, debido a que se deben realizar varias mediciones para tener el punto de equilibrio o estabilidad del valor de la resistencia ubicando el electrodo en varias posiciones. Se puede realizar entre 5 a 8 mediciones con diferentes distancias del electrodo **E-P**. Como se muestra en la figura 3.



Luego de realizar las mediciones con diferentes distancias se recomienda también realizarlo en diferentes direcciones, estas pueden ser Norte-Sur, Este-Oeste y se procederá a registrar en una hoja de apuntes con la finalidad de tener estos valores inscritos y así realizar los cálculos necesarios como promedio y resistividad.

Para realizar la medición a un sistema de mallas, realizaremos las mediciones en cada punto donde se encuentre un varilla o electrodo y se calculara la resistencia equivalente de todo el conjunto de la malla mediante la siguiente formula.

$$REM = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{\frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4}}}$$

Donde:

REM= resistencia total de la malla (Ω).

R1, R2, R3, R4 = valores de las resistencias de cada electrodo medido en la malla (Ω).

Anexo N° 7. Tabla del calibre de los conductores de cobre desnudo.

Calibre	Area nominal de la seccion transversal		Diametro Nominal	
	AWG	mm ²	kcmil	mm
30	0,05067	0,100	0,254	0,010
29	0,06469	0,180	0,287	0,011
28	0,08042	0,159	0,320	0,013
27	0,1024	0,202	0,361	0,014
26	0,1282	0,253	0,404	0,016
25	0,1626	0,320	0,455	0,018
24	0,2051	0,404	0,511	0,020
23	0,2588	0,511	0,574	0,023
22	0,3247	0,640	0,643	0,025
21	0,4117	0,812	0,724	0,029
20	0,5191	1,020	0,813	0,032
19	0,6533	1,290	0,912	0,036
18	0,8235	1,620	1,024	0,040
17	1,04	2,050	1,151	0,045
16	1,307	2,580	1,290	0,051
15	1,651	3,260	1,450	0,057
14	2,082	4,110	1,628	0,064
13	2,627	5,180	1,829	0,072
12	3,307	6,530	2,052	0,081
11	4,169	8,230	2,304	0,091
10	5,26	10,380	2,588	0,102
9	6,633	13,090	2,906	0,114
8	8,367	16,510	3,264	0,129
7	10,55	20,820	3,665	0,144
6	13,3	26,240	4,115	0,162
5	16,76	33,090	4,620	0,182
4	21,15	41,740	5,189	0,204
3	26,67	252,620	5,827	0,229
2	33,62	66,360	6,543	0,258
1	42,41	83,690	7,348	0,289
1/0	53,48	105,600	8,252	0,325
2/0	67,43	133,100	9,266	0,365
3/0	85,01	167,800	10,400	0,410
4/0	107,2	211,600	11,680	0,460