



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO**

TEMA:

**“ESTUDIO DEL SISTEMA DE PUESTAS A TIERRA DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE E IMPLEMENTACIÓN DE UN
TELURÓMETRO DE CUATRO ELECTRODOS.”**

AUTOR: RUIZ ORTEGA JAIRO SANTIAGO

DIRECTOR: ING. MAURICIO VÁSQUEZ

IBARRA – ECUADOR

2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital determina la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100367229-0
APELLIDOS Y NOMBRES:	JAIRO SANTIAGO RUIZ ORTEGA
DIRECCIÓN:	OBISPO MOSQUERA- CHECA 1-21 Y SÀNCHEZ Y CIFUENTES
E-MAIL:	santhy_52@hotmail.com
TELÉFONO MÓVIL:	0983690532
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“ESTUDIO DEL SISTEMA DE PUESTAS A TIERRA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE E IMPLEMENTACIÓN DE UN TELURÓMETRO DE CUATRO ELECTRODOS.”
AUTOR:	JAIRO SANTIAGO RUIZ ORTEGA
FECHA:	ENERO DEL 2017
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERO EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO
DIRECTOR:	ING. MAURICIO VÁSQUEZ

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Jairo Santiago Ruiz Ortega, con cédula de identidad Nro. 100367229-0 en calidad de autor y titular de los derechos Patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 144.

3. 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 la defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.



.....
Firma

Nombre: Jairo Santiago Ruiz Ortega

Cédula: 100367229-0

Ibarra, Enero del 20017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

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

Yo, Jairo Santiago Ruiz Ortega, con cédula de identidad Nro. 100367229-0 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 de la obra o trabajo de grado denominado **“ESTUDIO DEL SISTEMA DE PUESTAS A TIERRA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE E IMPLEMENTACIÓN DE UN TELURÓMETRO DE CUATRO ELECTRODOS.”** que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico en la Universidad Técnica del Norte quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento de realizar la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....
Firma

Nombre: Jairo Santiago Ruiz Ortega

Cédula: 100367229-0

Ibarra, Enero del 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

INFORME DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

En mi calidad de Director del Trabajo de Grado, presentado por el egresado Ruiz Ortega Jairo Santiago, para optar por el Título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, cuyo tema es: **ESTUDIO DEL SISTEMA DE PUESTAS A TIERRA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE E IMPLEMENTACIÓN DE UN TELURÓMETRO DE CUATRO ELECTRODOS**. Considero que el presente trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

Ing. Mauricio Vásquez

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

El presente proyecto de tesis está dedicado principalmente a mi madre que con su ardua labor me ha llevado por el sendero del bien con amor y paciencia, enseñándome los principios y valores que componen la Vida; hoy como recompensa llega a ver plasmado su sueño, mi titulación como ingeniero Eléctrico.

A mi padre que desde pequeño me inculcó disciplina y honestidad en el trabajo.

A mi amada esposa Evelyn, quien ha sido un pilar fundamental en mi vida y me ha ayudado en toda dificultad con amor y comprensión.

A mis hijitos Juan David y Jhostin que con sus travesuras, cariño y ternura me devuelven las fuerzas a diario.

En general a toda mi familia, todos de alguna manera aportaron con su granito de arena en mi formación personal

Jairo Santiago Ruiz Ortega



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

A Dios primeramente por permitirme llegar hasta esta instancia con todas las dificultades hasta hoy Superadas; por su bendición y cobertura...toda la Gloria sea a él.

Al ingeniero Mauricio Vásquez director de mi trabajo de grado por su dirección y conocimientos impartidos

A los ingenieros Alfonso y Alejandro Echeverría por todo el apoyo y las oportunidades que me han brindado

A los ingenieros que formaron parte de este trabajo investigativo y me compartieron sus experiencias

En general a la Universidad Técnica del Norte y a todos los docentes quienes entregan día a día sus enseñanzas formándonos a los futuros profesionales

A mis compañeros y amigos con quienes compartí más que una aula, alegrías, triunfos, y trabajo en equipo.

Jairo Santiago Ruiz Ortega

RESUMEN

En el documento se presenta el estudio del sistema de puestas a tierra realizado en la Universidad Técnica del Norte, de la ciudad de Ibarra, el sistema de puesta a tierra consiste en un esquema de aterramiento en las instalaciones eléctricas del campus universitario, dicho sistema se encarga de despedir las corrientes de falla o sobrevoltajes por un camino directo hacia la tierra física, no permitiendo electrificaciones o peor aún electrocución en el caso de un contacto humano con estructuras metálicas o cables desnudos mal aislados, garantizando así la seguridad del personal operativo de la edificación. El estudio se desarrolla en un proceso de mediciones, primero de resistividad de suelo en las diferentes áreas de cada facultad, mismo que consiste en la obtención de datos del terreno y permita conocer sus características de conductibilidad frente a una descarga eléctrica, presentando así condiciones para el diseño de una malla de puesta a tierra; segundo determinar el estado de la de puestas a tierra existentes, la resistencia del electrodo fabricado, y sus condiciones físicas, al tratarse de conductores metálicos en contacto con la humedad, sales minerales, y demás componentes del suelo están expuestos a corrosión, así que de este análisis depende la calificación de la misma.

Este estudio presenta también el diseño de una malla de puesta a tierra para la Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas FACAE, con la ayuda de un software especializado. Los resultados de esta simulación se comparan con diseños realizados con cálculos manuales.

Además de esto se implementa al laboratorio de la carrera con un telurómetro de cuatro electrodos para prácticas futuras.

SUMMARY

In this document, The Grounding System developed in “Universidad Técnica del Norte” is presented. This system, consists in Grounding the electrical installations of all University’s buildings. It works translating the fault currents to the ground. With this, we avoid electrification or electrocution in case of human contact with metallic structures, bare wires, etc. As result, the people university are safe from all this electrical risks.

This study started with measures of different electrical parameters. First, the ground’s resistivity is measured in the different faculty buildings. With this, we can know the ground’s conductivity and use them to design a grounding mesh. Second, determinate the status of the existing grounding systems, the electrode resistance and its actual conditions. This is made because all this metallic conductors are in contact with humidity, mineral salts and other ground components that can cause corrosion.

Also, this study presents a grounding mesh design for the “Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas FACAE”. For the design, a special software is used. The simulation results, are compared with manual calculations.

In addition, a four electrode Telurometer is donated to the Faculty laboratory for future investigations.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN.....	II
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	IV
INFORME DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
RESUMEN.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	X
INDICE DE FIGURAS.....	XVI
INDICE DE TABLAS.....	XVIII
INDICE DE ECUACIONES.....	XIX
CAPÍTULO I.....	1
1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.4 DELIMITACIÓN.....	3
1.4.1 TEMPORAL.....	3
1.4.2 ESPACIAL.....	3
1.5 OBJETIVOS.....	3
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	4
CAPÍTULO II.....	6
2 MARCO TEÓRICO.....	6

2.1 INTRODUCCIÓN.....	6
2.2. SISTEMA A TIERRA.....	7
2.2.1 OBJETIVOS DE UNA PUESTA A TIERRA	8
2.2.2 CARACTERÍSTICAS	9
2.3 DISPOSICIÓN DE UNA PUESTA A TIERRA.....	10
2.4 COMPONENTES DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA.....	11
2.4.1 CONECTORES.....	11
2.4.2 SUELDAS EXOTÉRMICAS	12
2.4.3 VARILLAS O ELECTRODOS.....	13
2.4.4 AGENTES EXTERNOS	15
2.5 TIPOS DE CONEXIONES	15
2.6 RAZÓN DE LAS PUESTAS A TIERRA.....	16
2.6.1 SEGURIDAD PERSONAL	16
2.6.2 RIESGOS DE LA ELECTRICIDAD EN LOS SERES HUMANOS.....	17
2.6.3 RELACIÓN ENTRE ENERGÍA ESPECÍFICA Y EFECTOS FISIOLÓGICOS	18
2.6.4 TENSIÓN DE PASO Y CONTACTO	19
2.6.4.1 TENSIÓN DE PASO	19
2.6.4.2 TENSIÓN DE CONTACTO	19
2.6.5 SOBRETENSIONES.....	19
2.7 TIPOS DE TIERRAS SEGÚN EL VOLTAJE A MANEJAR	20
2.8 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO	25
2.8.1 MÉTODO DE WENNER	26
2.8.2 MÉTODO DE SCHLUMBERGER	28
2.9 ESTRUCTURA DEL SUELO.....	28
2.10 MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE UNA PUESTA A TIERRA	30
2.11 MODELACIÓN DE SUELOS.....	32
2.11.1 METODOLOGÍA BOX-COX.....	32
2.11.2 CÁLCULOS SIMPLIFICADOS	34

2.12 ESQUEMAS DE CONEXIÓN A TIERRA.....	35
2.12.1 LOS ESQUEMAS DE CONEXIÓN A TIERRA EN BT (REGÍMENES DE NEUTRO)	35
2.12.2 ESQUEMA TT.....	36
2.12.3 ESQUEMA TNC.....	37
2.12.4 ESQUEMA TNS.....	37
2.12.5 ESQUEMA IT.....	38
2.13 TIPOS DE ELECTRODOS DE PUESTAS A TIERRA	38
2.14 AGENTES EXTERNOS QUE DETERIORAN EL ELECTRODO	40
2.14.1 CORROSIÓN.....	41
2.14.2 CORROSIÓN SUBTERRÁNEA	45
2.14.3 EXPERIENCIA DE PRUEBAS DE CORROSIÓN EN TERRENO	46
2.15 PASOS TEÓRICOS PARA REALIZAR EL DISEÑO DE UNA MALLA A TIERRA	48
2.15.1 CÁLCULOS DE DISEÑO PARA REALIZAR UNA PUESTA A TIERRA.....	50
2.15.2 CALIBRE DEL CONDUCTOR DE TIERRA.....	50
2.15.3 CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO EN BAJA POTENCIA.....	51
2.16 GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	61
CAPÍTULO III.....	65
3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	65
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	65
3.1.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	65
3.1.2 INVESTIGACIÓN DE CAMPO	66
3.1.3 INVESTIGACIÓN APLICADA	66
3.2 MÉTODOS.....	66
3.2.1 MÉTODO DEDUCTIVO	66
3.2.2 MÉTODO INDUCTIVO.....	66
3.2.3 MÉTODO ANALÍTICO	67
3.2.4 MÉTODO SINTÉTICO	67

3.2.5 MÉTODO EXPERIMENTAL.....	67
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	68
CAPITULO IV	70
4 DESARROLLO	70
4.1 INTRODUCCIÓN.....	70
4.2 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DE SUELOS EN EL CAMPUS UTN.....	70
4.2.1 ZONIFICACIÓN DE LA UTN.....	71
4.2.3 RESULTADOS DE LAS MEDICIONES.....	72
4.2.3.1 FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y ECONÓMICAS (FACAE) ..	73
4.2.3.2 FECYT.....	76
4.2.3.3 ÁREAS ALEDAÑAS AL EDIFICIO DE POSTGRADO.....	79
4.2.3.4 ÁREA POSTERIOR A LA PISCINA SEMI-OLIMPICA.....	82
4.2.3.5 ÁREAS VERDES PARTE TRASERA FICA.....	85
4.3 MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE LAS PUESTAS A TIERRA.....	88
4.3.1 UBICACIÓN DE LOS ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA DENTRO DE LA UTN.....	88
4.3.1.1 ÁREAS VERDES DE LA FECYT	89
4.3.1.2 ÁREAS VERDES DE LA FACAE	90
4.3.1.4 FICAYA.....	92
4.3.1.5 ÁREAS ALEDAÑAS AL EDIFICIO DE LA FICA	92
4.3.1.6 CIENCIAS DE LA SALUD	93
4.3.1.7 EDIFICIO FICA PARTE TRASERA.....	94
4.3.1.8 CENTRO DE TRANSFORMACIÓN	95
4.3.2 RESULTADO DE LAS MEDICIONES	96
4.4 CÁLCULO DE LA MALLA DE TIERRA REQUERIDA PARA LA FACULTAD FACAE	97
4.5 PARÁMETROS DE DISEÑO DE LAS MALLAS	97

4.6 BANCO DE PRUEBAS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR LA RESISTIVIDAD DEL SUELO	106
4.7 PRÁCTICAS DE LABORATORIO A EJECUTAR EN EL BANCO DE PRUEBAS.	107
CAPITULO V	108
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
5.1 CONCLUSIONES	108
5.2 RECOMENDACIONES	109
5.3 BIBLIOGRAFÍA.....	110
5.4 ANEXOS.....	112
ANEXO I: PLANO DEL CAMPUS UTN.....	112
ANEXO II: ZONIFICACIÓN DEL CAMPUS UTN.....	113
ANEXO III: MANUAL DE INSTRUCCIONES TELUROMETRO DUOYI 4300 B.	114
ANEXO IV: ZONAS DE MEDICIÓN, RESISTIVIDAD DE SUELOS UTN.	144
ANEXO V: REPORTE FOTOGRÁFICO MEDICIONES DE RESISTIVIDAD CAMPUS UTN.....	145
ANEXO VI: UBICACIÓN MALLAS CAMPUS UTN.....	148
ANEXO VII: CONSTRUCCIÓN DE MALLAS CAMPUS UTN.....	149
ANEXO VIII: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA FECYT	152
ANEXO IX: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA FACAE	153
ANEXO X: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA EDIFICIO CENTRA.....	154
ANEXO XI: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA FICAYA	156
ANEXO XII: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA LABORATORIOS FICA	157
ANEXO XIII: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA CIENCIAS DE LA SALUD	158
ANEXO XIV: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA CIENCIAS DE LA SALUD 2	159

ANEXO XV: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA FICA PARTE TRASERA.....	160
ANEXO XVI: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA ESTRUCTURA TIPO "H"	161
ANEXO XVII: PLANO UTN MEDICIONES DE RESISTENCIA DE TIERRAS DEL CAMPUS UNIVERSITARIO	162
ANEXO XVIII: UBICACIÓN DE TRANSFORMADORES EN EL CAMPUS UTN.	163
ANEXO XIX: DISEÑO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA FICA MEDIANTE SOFTWARE DEDICADO.....	165
ANEXO XX: DIMENSIONES BANCO DE PRUEBAS Y DISEÑO.....	172
ANEXO XXI: PRACTICAS BANCO DE PRUEBAS.....	174
ANEXO XXI: PRACTICAS BANCO DE PRUEBAS.....	177

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Conector de tierra	11
FIGURA 2: Suelda exotérmica	12
FIGURA 3: Molde de suelda.....	13
FIGURA 4: Varilla cooperwell.....	14
FIGURA 5: Electrodo de tierra	14
FIGURA 6: Agente externo GEM.....	15
FIGURA 7: Tipo de conexiones a tierra	16
FIGURA 8: Tensión de contacto.....	19
FIGURA 9: Grafica de la penetración de los electrodos.....	24
FIGURA 10: Método de Wenner.....	27
FIGURA 11: Configuración con el método de Schlumberger	28
FIGURA 12: Variación de Resistividad y humedad a diferentes frecuencias	29
FIGURA 13: Sistema de puesta a tierra.....	31
FIGURA 14: Software para el diseño se la malla a tierra	35
FIGURA 15: Esquema de modelo TT	36
FIGURA 16: Esquema TN-C	37
FIGURA 17: Esquema TN-S.....	37
FIGURA 18: Esquema IT.....	38
FIGURA 19: Susceptibilidad a la corrosión de metales.....	45
FIGURA 20: Efecto de las características del suelo y del clima en la corrosión.....	47
FIGURA 21: Método de los cuatro electrodos o de Wenner	49
FIGURA 22: Resistividad vs profundidad.....	55
FIGURA 23: Curva de resistividad.....	56
FIGURA 24: Dimensiones y modelo 3D de la malla.....	56
FIGURA 25: Líneas de dispersión	57

FIGURA 26: Líneas de dispersión	57
FIGURA 27: Voltajes máximos de paso y contacto.....	58
FIGURA 28: Teluometro DUOYI 4300B DE 4 POLOS	72
FIGURA 29: Curva de Valores promedios resistividad vs profundidad	75
FIGURA 30: Mediciones realizadas en las áreas verdes de la FACAE.....	76
FIGURA 31: Curva de Valores promedios resistividad vs profundidad	78
FIGURA 32: Mediciones realizadas en la cancha de futbol de la facultad FECYT	79
FIGURA 33: Curva de Valores promedios resistividad vs profundidad	81
FIGURA 34: Medición de resistividad postgrado.....	82
FIGURA 35: Curva de Valores promedios resistividad vs profundidad	84
FIGURA 36: Medición de resistividad piscina	85
FIGURA 37: Curva de Valores promedios resistividad vs profundidad	87
FIGURA 38: Medición de resistividad FICA trasera	87
FIGURA 39: Ingreso de valores al software.....	101
FIGURA 40: Ingreso de valores al software.....	102
FIGURA 41: Ingreso de valores al software.....	103
FIGURA 42: Análisis malla FACAE	103
FIGURA 43: Líneas de dispersión de voltaje	104
FIGURA 44: Líneas de dispersión de voltaje 3D.....	105
FIGURA 45: Líneas de potencial	106

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: Estados en función de humedad y tensión de seguridad	17
TABLA 2: Rangos de energía y los efectos fisiológicos	18
TABLA 3: Configuración de varillas.....	25
TABLA 4: Rango de resistividad del suelo	29
TABLA 5: Corrientes de cortocircuito de transformadores monofásicos.....	52
TABLA 6: Corrientes de cortocircuito de transformadores trifásicos.....	53
TABLA 7: Calibres recomendados para transformadores monofásicos	59
TABLA 8: Calibres recomendados para transformadores trifásicos	60
TABLA 9: Valores de resistividad FACAE	73
TABLA 10: Valores promedios resistividad vs profundidad	74
TABLA 11: Valores de resistividad FECYT	77
TABLA 12: Valores promedios resistividad vs profundidad	78
TABLA 13: Valores de resistividad POSTGRADO	80
TABLA 14: Valores promedios resistividad vs profundidad	81
TABLA 15: Valores de resistividad PISCINA	83
TABLA 16: Valores promedios resistividad vs profundidad:	84
TABLA 17: Valores de resistividad FICA.....	85
TABLA 18: Valores promedios resistividad vs profundidad	86
TABLA 19: Tabla de resistencias de puesta a tierra.....	96
TABLA 20: cálculo del valor de resistividad	98
TABLA 21: Metodología Box-Cox.....	99

INDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1: Método de Wenner	27
ECUACIÓN 2: Método simplificado de Wenner	27
ECUACIÓN 3: Ln resistividad aparente	33
ECUACIÓN 4: Sumatoria de resistividades aparentes	33
ECUACIÓN 5: Desviación estándar	33
ECUACIÓN 6: Resistividad promedio.....	33
ECUACIÓN 7: Sverak, resistencia de puesta a tierra	34
ECUACIÓN 8: Potencia de cortocircuito.....	51
ECUACIÓN 9: Corriente de cortocircuito trifásico.....	51
ECUACIÓN 10: Corriente de cortocircuito monofásico	51
ECUACIÓN 11: Corriente de cortocircuito en el secundario del transformador.....	54
ECUACIÓN 12: Calibre del conductor	58

CAPÍTULO I

1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Actualmente a nivel mundial se ha determinado que las puestas a tierra son de suma importancia en todas y cada una de las instalaciones eléctricas industriales y residenciales, que efectivamente sirven tanto para la protección de las personas, como para los equipos o artefactos y en si la red eléctrica sufriera alguna perturbación que origine sobre voltajes transitorios.

En la Universidad Técnica del Norte en el sector El Olivo de la ciudad de Ibarra provincia de Imbabura, desde hace varios años, se han identificado ciertas anomalías en las redes e instalaciones eléctricas principales y secundarias de baja tensión. Se presume que la causa principal de los desperfectos sufridos en equipos, aparatos eléctricos y electrónicos se debe a una anomalía identificada como la falta de mallas de puesta a tierra dimensionadas y conectadas correctamente en todos los transformadores y tableros principales de la UTN.

Día a día se ha evidenciado una deficiente seguridad eléctrica en los distintos laboratorios y aulas de la institución causando perjuicios los mismos que se resumen en daños y pérdidas de equipos, pese a esto, y tomando en cuenta que los fenómenos transitorios podrían no repetirse con regularidad, se ha logrado librar todas estas dificultades con soluciones parciales que no resuelven la esencia del problema.

Ya sea por desconocimiento o falta de interés en el tema de aterrizajes, seguridad de las personas y seguridad de las instalaciones eléctricas, hasta la fecha no se ha realizado ningún estudio serio sobre la resistividad de suelos en las distintas áreas del Campus UTN, menos aún se han diseñado correctamente los electrodos de puesta a tierra o mallas de tierra que necesita cada centro de transformación y cada área de consumo eléctrico dentro de nuestra Universidad

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Siendo de vital importancia dentro de un sistema eléctrico el correcto dimensionamiento y diseño de un electrodo de puesta a tierra o malla de tierra, se considera necesario el evaluar inicialmente la resistividad del suelo en las distintas áreas de la UTN, para posteriormente diseñar los electrodos o mallas que requiere cada instalación para trabajar con la seguridad que manda la normativa internacional.

Con respecto a la formación de los alumnos de la facultad de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico o la nueva carrera de Ingeniería Eléctrica en la UTN, es necesario e importante que se impartan los conocimientos inherentes a la determinación de la Resistividad de los diversos tipos de suelo donde diariamente se construyen proyectos eléctricos de todo tipo, se enseñe también al estudiante a diseñar adecuadamente el Electrodo de Puesta a Tierra, tal que se garantice un óptimo aprovechamiento de los recursos económicos del cliente y se consiga la protección que manda internacionalmente la normativa correspondiente.

La importancia de la didáctica en el proceso de aprendizaje, sugiere al educador y a la entidad educativa, contar con maquetas o modelos que repliquen los fenómenos eléctricos – físicos que ocurren normalmente en el desarrollo profesional del ingeniero. Por esta razón, parte del problema consiste en dotar de un banco de pruebas de laboratorio, en el cual se determine mediante método científico experimental la resistividad de los diferentes tipos de suelo que podemos encontrar en el Ecuador.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo determinar la resistividad del suelo en las distintas zonas del Campus UTN y cómo puedo realizar adecuadamente el diseño de un Electrodo de Puesta a Tierra o Malla de Tierra que corresponda a las necesidades de cada punto y que mejore la seguridad para las personas y equipos en todas las instalaciones de la Universidad Técnica del Norte?

¿Cómo dotar al laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la UTN, de un banco de pruebas con capacidad de enseñar al estudiante, mediante prácticas de laboratorio, el método científicamente desarrollado y usado para calcular la resistividad de los diferentes tipos de suelo en los que se desarrollan diariamente proyectos eléctricos de toda magnitud?

1.4 DELIMITACIÓN

1.4.1 TEMPORAL

El proyecto se llevó a cabo desde el mes de enero hasta el mes de agosto del año 2016 cumpliendo con un cronograma de actividades y la asesoría de un experto en este tipo de proyectos.

1.4.2 ESPACIAL

Se trabaja en el estudio de las puestas a tierras de todas y cada una de las facultades de la ciudadela universitaria del barrio El Olivo, además de la implementación de un banco de pruebas y un teluometro de cuatro electrodos en el laboratorio de educación técnica perteneciente a la carrera en Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, el mismo que aportara con el desarrollo en la enseñanza de la carrera.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un estudio de los sistemas de puestas a tierra de las instalaciones de la ciudadela universitaria e implementar el telurómetro de cuatro electrodos.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar análisis bibliográfico relacionado a las teorías de las puestas a tierra.
- Medir la resistividad del suelo del campus.
- Realizar el diagnostico de las distintas instalaciones de puesta a tierra de toda la infraestructura de la ciudadela universitaria.

- Mejoramiento de las puestas a tierra y rediseño mediante software dedicado en los casos necesarios.
- Implementar en el laboratorio de la carrera en Ingeniería en Mantenimiento eléctrico un banco de pruebas con un telurómetro de cuatro electrodos.

1.6 JUSTIFICACIÓN

Este es un proyecto de gran utilidad porque al realizar este análisis de puesta a tierra se conocerá de cerca las técnicas de instalación, procedimientos, mejoras, y deficiencias de una instalación en general, las que servirán tanto para análisis como para su directa aplicación en general, desde luego para ser aplicado en distintas instalaciones de Universidad Técnica del Norte y lugares donde sea su requerimiento.

Es necesario saber y experimentar de cerca la problemática planteada, ya que así sabremos con exactitud sus causas y efectos, mejorando su funcionamiento, además de que la Universidad Técnica del Norte requiere este estudio en pro de un cuidado y consumo eficiente de energía eléctrica, debemos recalcar que este análisis aportara los datos necesarios, materiales y características de las mejoras a realizarse previamente según disposición de sus autoridades.

Con el diseño de una malla de puesta a tierra en un centro de transformación se planteó de forma técnica la realización de la misma, con cálculos simplificados se obtuvo los resultados mediante software aplicado, en base a parámetros de seguridad de personas y equipos.

Será posible contar con una herramienta importante para la medición y pruebas requeridas para elaborar este proyecto, el Telurómetro; con el serán beneficiados los estudiantes de carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, mismos que se forman como profesionales de la ciudad de Ibarra, y directamente los del servicio eléctrico.

La implementación del telurómetro también beneficiará a los docentes y estudiantes de CIME; el docente no tendrá problemas en la disponibilidad, transporte y cuidado del equipo ya que, al estar dentro los activos de la facultad se puede utilizarlo con el debido procedimiento que se establezca en el laboratorio, además de un banco de pruebas prácticas en el cual los estudiantes podrán estudiar el comportamiento del suelo y los métodos de medición de resistividad de suelos.

El equipo estará a disposición de quien lo solicite y necesite para las enseñanzas dentro de la universidad, pudiendo el responsable hacer uso del mismo con un reglamento de uso lo estime conveniente para la buena explicación y desempeño de su asignatura.

Con este aporte además de complementar el laboratorio se está promoviendo a la manipulación directa de esta herramienta y equipos de este tipo por lo cual el estudiante no tendrá problemas al enfrentarse con una problemática similar ya en el plano laboral.

Este equipo permitirá realizar las prácticas de mediciones de puestas a tierra y pruebas que determinaran el estado de las mismas.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

Desde hace tiempo y hasta la actualidad el mundo vive en constante desarrollo, esto no sería posible sin energía, en especial la energía eléctrica que ha tanto ha servido para los avances tecnológicos y demás innovaciones, de igual manera se han presentado diversos problemas en el área laboral llegando a contar vidas humanas perdidas y una de las causas ha sido especialmente fallos en las instalaciones eléctricas ya sea por defectos de conexión o aislamiento.

Esta ha sido una problemática que con el paso de los años se ha ido mejorando gracias a que después de investigaciones se determinó la falta de una protección para personas y equipos en cuanto a problemas de descargas eléctricas ya sea por defectos de aislación o sobre voltajes es por eso que toda instalación del orden eléctrico ya sea residencial comercial o industrial debe estar protegida, es decir debe contar con la seguridad pertinente, misma que deberá poder proteger personas y equipos de fallas comunes presentadas en los distintos campos laborales.

Este estudio realizado muestra todas las generalidades referentes al tema de protecciones de personas y equipos presentadas por fallas eléctricas que en general se lo llamara sistema de puesta a tierra.

Desde la antigüedad en el siglo XIX cuando se usaba el telégrafo en los sistemas de comunicación se implementaban dos o más cables, uno para llevar la señal y el otro como retorno; el científico alemán Carl August Steinheil, pronto descubrió que la tierra podía utilizarse como retorno y así se utilizó solamente una línea cerrando el circuito con la tierra. Zúñiga (2008).

Posteriormente este sistema presentó inconvenientes cuando las tierras no tenían humedad, por lo que se tuvo que proporcionar humedad en las barras, para propiciar que la conexión pueda volver a su normal funcionamiento.

Las puestas a tierra, o tierra simplemente es la unión de dos conductores que se disponen uno a continuación del otro o en conexión de barras; varillas o jabalinas enterradas a tierra de poca resistencia y unidas por un conductor técnicamente especificado, a la estructura metálica de las instalaciones eléctricas, para realizar un trabajo de aislación en la red eléctrica y no solamente eso sino lo más importante, protección para las persona y los equipos.

Este sistema sirve de protección, porque en estas instalaciones se desvían corrientes de falla o sobre voltajes hacia tierra, ya sea de orden atmosférico producido en los distintos equipos eléctricos evitando así el deterioro de aislamiento en motores por ejemplo o desperfectos en los mismos aparatos electrónicos.

Se puede decir de una puesta a tierra que protege también a las personas; de una descarga directa desde una carcasa metálica de un equipo con falla a tierra con el que el individuo este directamente en contacto, desviando este exceso de corriente por el cable de tierra evitando así electrificaciones.

En sistemas de alto voltaje se conecta un hilo conductor en las puntas de las torres de distribución además de aterrarlas independientemente, esto con la finalidad no solo de proteger a las personas de un contacto accidental y por ende electrificación sino también como pararrayos evitando así que las descargas atmosféricas no afecten al cable y en si a la red de energía eléctrica.

2.2. SISTEMA A TIERRA

El sistema a tierra básicamente se entiende como la desviación o desfogue de las corrientes de fuga o sobre voltajes dentro del uso de electricidad, llamada también como sistema de electrodo de tierra, que es la conexión física de un sistema eléctrico o electrónico, a una varilla de tierra la cual está en contacto directo con el suelo es decir enterrado.

García (2009) afirma “punto de puesta a tierra es un punto generalmente fuera del terreno que sirve de unión de las líneas de tierra con el electrodo, directamente o a través de líneas de enlace con él” (p. 8).

Las conexiones de puesta a tierra en forma general poseen impedancia compleja, teniendo componentes inductivas, capacitivas y resistivas, todas las cuales afectan las cualidades de conducción de la corriente. Asea (2006).

Por puesta a tierra se define como una conexión eléctrica a la masa general de la tierra, un volumen de suelo, roca o similar se considera como tierra y las dimensiones son muy grandes en comparación al tamaño del sistema eléctrico que está siendo considerado.

2.2.1 OBJETIVOS DE UNA PUESTA A TIERRA

En resumen el objetivo de una puesta a tierra es:

Salvaguardar la vida de las persona que operan máquinas y equipos que deben estar intencional y debidamente aterrizados además de carcasas metálicas estructuras armarios bastidores palancas etc. que estén a su al alcance.

Proporcionar a la corriente de falla un camino definido de regreso a la fuente de energía y con impedancia suficientemente baja, vía conductores de tierra, de tal modo que ante el evento de una falla a tierra de un conductor activo, fluya por una ruta predeterminada una corriente suficiente, que permita operar al dispositivo de protección del circuito.

Establecer un sistema equipotencial entre las estructuras metálicas, tierras de servicio y de protección, para ofrecer una sola tierra que evite choques eléctricos y descargas al contacto con las personas.

Limitar a un valor seguro la elevación de potencial en todas las estructuras metálicas a las cuales tienen normalmente acceso personas, bajo condiciones normales y anormales del circuito.

Evitar un incendio que pueda provocarse por materiales volátiles en contacto con las corrientes de falla y/o gases provocados.

2.2.2 CARACTERÍSTICAS

El sistema puesta a tierra es importante dentro de un sistema eléctrico. Rojas (2010) afirma, “toda instalación eléctrica requiere de un correcto sistema de puesta a tierra, el cual tiene por objeto proteger vidas y bienes de los efectos dañinos de la corriente eléctrica, así como garantizar el funcionamiento adecuado de toda la instalación” (p.3); desde el punto de vista de seguridad de un sistema eléctrico, la puesta a tierra tiene varias características que se identifican por las diversas funciones que cumple en forma exclusiva y de tipo prioritaria en una sistema eléctrico.

Una de las funciones es contribuir a establecer valores de tensión adecuadamente bajos entre las fases sanas y tierra, durante fallas a tierra en los sistemas de potencia. Sotelo (2011) afirma “la tierra en si se refiere al potencial de la superficie del suelo, por tanto este debe cumplir con ciertos parámetros”(p. 3):

- Constituir una tierra única equipotencial
- Tener un valor bajo de resistencia (medida en ohmios)
- Debe ser rica en sales minerales y muy húmedas
- No debe alterar su resistencia con la variación de temperatura
- Control de potencial en subestaciones eléctricas

Para Morales (2010) entre los aspectos que deben tomarse en cuenta lo siguiente:

En las instalaciones eléctricas la puesta a tierra principalmente está relacionada con la seguridad.

Un sistema de puesta a tierra no es homogéneo en todas las instalaciones, es decir, se diseña con el fin de cumplir dos funciones la de seguridad y garantizar su correcto funcionamiento.

Seguridad y funcionamiento se logra a través del establecimiento de conexiones equipotenciales.

Toda estructura metálica conductiva expuesta que puede ser tocada por una persona, se conecta a través de conductores de conexión eléctrica.

En síntesis el sistema de puestas a tierra debe cumplir con ciertas características tanto naturales como la calidad del suelo, así como artificiales, calidad del electrodo además de esto preparación de químicos para mejoras del suelo, es decir nuestra tierra debe ser capaz de desfogar y protegernos de las perturbaciones por sobretensiones, y fugas de corrientes, aspectos que ponen de manifiesto la importancia de que los sistemas a tierra deban estar diseñados para brindar seguridad, es decir que ante una eventual falla, Morales (2011) afirma “los potenciales tanto en el terreno como en los conductores conectados al electrodo de tierra o en los conductores expuestos en la vecindad, están bajo los límites apropiados” (p. 2).

2.3 DISPOSICIÓN DE UNA PUESTA A TIERRA

En las distintas configuraciones de una instalación eléctrica se puede decir que el sistema de puestas a tierra está separado o tiene su espacio independiente, o sea tanto la malla de puesta a tierra o electrodo de tierra como la barra de conexión a esta deben tener un lugar específico, esto dependiendo de la necesidad del trabajo.

En la ubicación de una puesta a tierra dentro de una subestación eléctrica es importante destinar un lugar abierto e independiente de la edificación, con suficiente espacio para la extensión de la malla, es importante conocer que la estructura metálica involucrada en dicha edificación esté conectada también al sistema de puesta a tierra en la subestación, esto con la finalidad de crear y tener equipotencialidad.

En una red de distribución se cuenta con transformadores los cuales se deben también aterrizar, esto con la finalidad de desviar corrientes de corto circuito, y se lo realiza al pie del poste en el cual está montado.

En el caso de la puesta a tierra o malla residencial, esta debe estar ubicada en un espacio verde como un jardín o simplemente una área abierta con acceso a su tierra física; y para la conexión en el tablero de distribución se destina una barra que dependiendo de la necesidad está conectada al neutro, esto ya se explicara con el desarrollo del marco teórico más adelante.

Roberto Ruelas Gómez, (2012) recomienda que en la parte interna de una vivienda se debe llegar al tablero de distribución con cable previamente identificado con color verde o en su defecto verde con franjas amarillas, para de ahí partir a cada circuito.

2.4 COMPONENTES DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA

Los distintos componentes de una malla o puesta a tierra difieren del tipo de instalación que se realice o de su utilidad, si es una puesta a tierra sencilla, como para un uso doméstico se requerirá simplemente de una varilla, cable conductor y un conector de sujeción a esta, ahora si se habla de una puesta a tierra de requerimientos más exigentes como una de tipo industrial se puede mencionar una malla reticulada tejida con un determinado número de varillas, soldas exotérmicas, cable desnudo, etc.,

Dependiendo del diseño y la necesidad, así como también se requerirá de componentes solubles como el GEM que es un compuesto que sirve para mejorar la conductividad del suelo, todos estos elementos se detallan a continuación:

2.4.1 CONECTORES

Hay que recalcar que la unión entre el conductor y la varilla en el exterior del aterramiento varía de acuerdo a la clase de conexión, existen conectores de ajuste manual con los que la maniobra mecánica es la única forma de establecer un ajuste entre el conductor y la varilla:

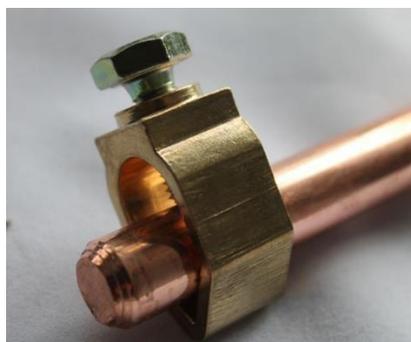


FIGURA 1: Conector de tierra

Fuente (UNELSAC, 2015)

Hay distintas clases de conectores de este tipo, su disposición varia solamente en la posición en la que se coloque y el torque que se le aplique, estas uniones son de fácil acceso, de uso práctico y muy económicas, pero presentan defectos como fracturas o aislamiento de la rosca al momento de ajustar y también con el paso del tiempo sulfatación o tienden a aflojarse no teniendo una correcta sujeción o contacto con la varilla continuo o definitivo.

2.4.2 SUELDAS EXOTÉRMICAS

También existen las uniones del tipo suelda exotérmica, estas son las más recomendadas a utilizar por su utilidad y modo de conexión, estas son las uniones mejor diseñadas para este tipo de trabajo ya que se pueden realizar uniones de cobre- cobre, o de cobre-acero, obviamente son de mayor costo pero sus ventajas representan una mayor durabilidad y un contacto sólido y definitivo, con el cual no se tendrá que realizar ningún tipo de mantenimiento.

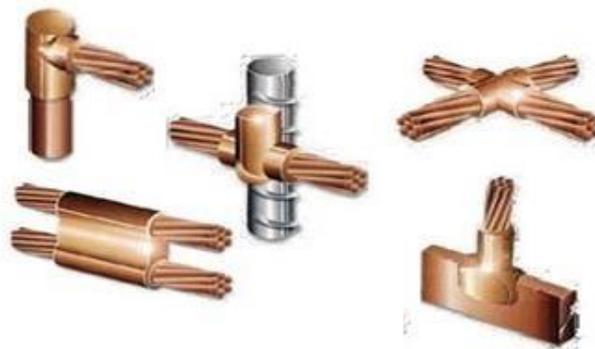


FIGURA 2: Suelda exotérmica

Fuente (APS, 2015)

Es necesario tener la calificación para realizar este tipo de conexiones por su modo de empleo, la forma de realizar este trabajo con suelda es un tanto complejo y de cuidado, se utilizan moldes de alta temperatura con cavidades en las que actúa un polvo granular metálico, de componentes químicos a una temperatura de 1400 grados centígrados, tales que al momento de la explosión derriten el material, y rellenan el espacio del molde se debe dejar 30 segundos desde el momento de encender el polvo dando lugar a que la mezcla se disperse de manera uniforme y a su vez para enfriar el molde , así se obtiene la suelda solidificando la unión de conductores con las varillas.

Se puede observar en la Figura 3 la forma del molde y su corte interior, la cavidad y el polvo empleado para este tipo de trabajo

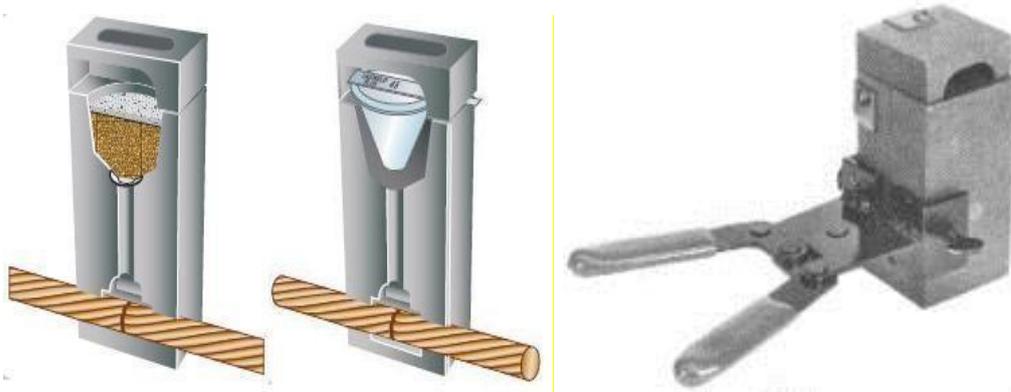


FIGURA 3: Molde de suelda
Fuente (PRONERGY, 2015)

2.4.3 VARILLAS O ELECTRODOS

Se conocen también con el nombre de jabalinas, constituye el principal elemento de unión entre el cable aterrado proveniente de la instalación, con la tierra física, así como también con la estructura metálica de la construcción que puede o no existir y/o estar involucrada.

Se compone de un bimetálico con alma de acero y un baño de cobre que ofrecen una suficiente conductividad y evitan la corrosión en contacto con la tierra, su longitud varía en función de la resistencia de propagación de la corriente de falla y dependiendo de la profundidad que se vaya a enterrar, en nuestro medio existen varillas de diferentes medidas y se encuentran desde: 5/8*1.20m, 5/8*1.80m y 5/8*2.40m, la colocación de este elemento es de fácil operación ya sea por golpe o previamente perforada la tierra en el caso de encontrarse con un terreno, pedregoso rocoso, o de difícil penetración.

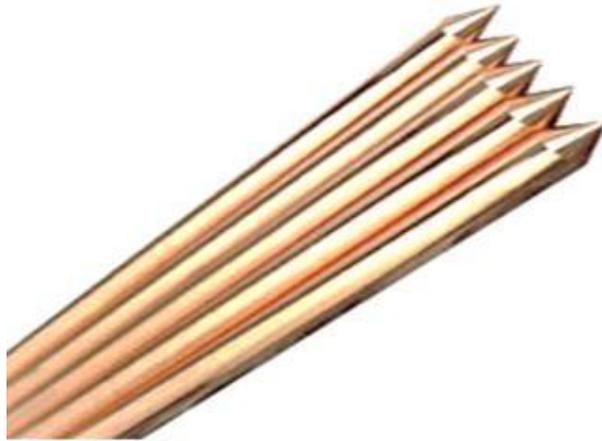


FIGURA 4: Varilla cooperwell
Fuente (PROMELSA, 2015)

Existe una variación en el tema de los electrodos, es decir otros tipos de ellos son los que componen este ítem y son las placas.

Electrodo de tierra recomendado para terrenos de alta resistividad. Resulta adecuado, cuando bajo una capa de tierra de poco espesor existen estratos rocosos. El modelo fabricado en acero inoxidable, se recomienda para instalaciones en terrenos muy húmedos o con altos grados de salinidad, así como terrenos altamente corrosivos.

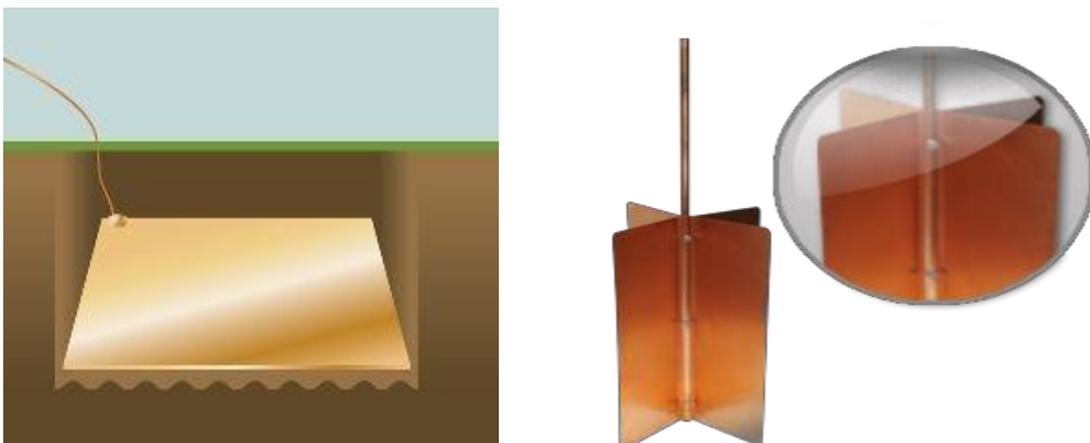


FIGURA 5: Electrodo de tierra
Fuente (SUMIDELEC, 2016)

2.4.4 AGENTES EXTERNOS

Cuando el suelo en el que se está trabajando no es de características favorables para una instalación de puesta a tierra o en espacios muy reducidos, se deben realizar diferentes tipos de mejoras del suelo para obtener una mejor conductividad del electrodo hacia la tierra.

Comúnmente se hacen cambios y se introducen sustancias como la sal en grano o carbón que generalmente presentan una ligera variación al momento de medir la resistividad del suelo o la resistencia de la puesta a tierra, pero en la actualidad existen compuestos listos para arrojar en las zanjas donde se entierra la varilla, mejorando la calidad del suelo considerablemente, convirtiéndola en una mezcla que protege de la corrosión galvánica, e imposible de disolver con agua lluvia, además de esto extendiendo la vida útil de la puesta a tierra y no perjudicial al medio ambiente.



FIGURA 6: Agente externo GEM

Fuente (PENTAIR, 2016)

2.5 TIPOS DE CONEXIONES

Además de esto se presenta una variedad de configuración de los electrodos ya sea por su tipo de conexión como por su disposición física, Ruelas Gómez (2011) las más comunes son las mallas o tejidos entre electrodos que en si se clavan a más de dos metros de separación entre ellas y se recorre el cable desnudo conectándolas entre sí a todas.

La cantidad de electrodos en una malla de puesta a tierra depende de la experiencia de quien la realiza como también de los requerimientos técnicos de la misma así como resistencia del electrodo fabricado y la cantidad de corriente a disipar, es por esta razón apenas lógico que para realizar el diseño de una malla de puesta a tierra se tomen como consideraciones iniciales, factores de este tipo.

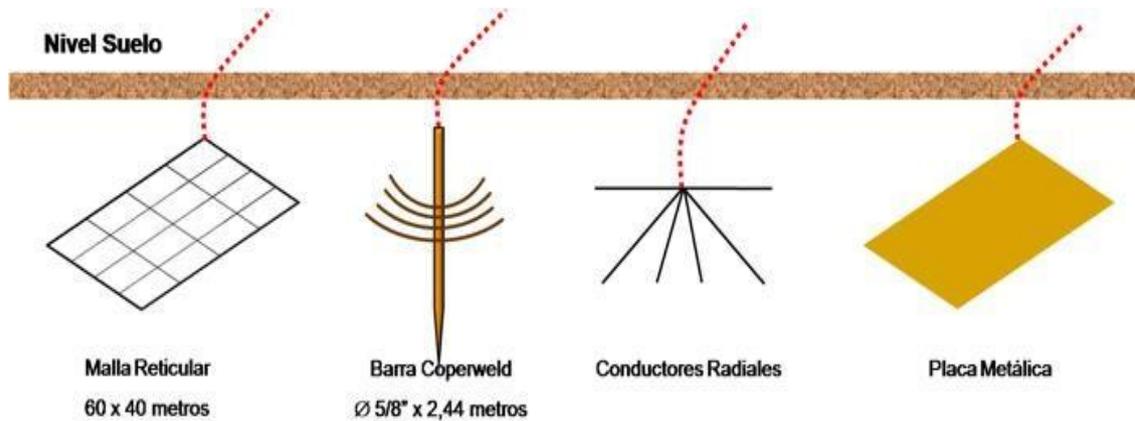


FIGURA 7: Tipo de conexiones a tierra

Fuente (Cabareda, 2016)

Más adelante se estudiara, Los tipos de conexión que dependen ampliamente de la necesidad o utilidad que se vaya a dar al sistema de puestas a tierra, generalmente se reconoce como régimen de neutro.

2.6 RAZÓN DE LAS PUESTAS A TIERRA

La utilidad de los sistemas de puestas a tierra es principalmente el de evitar los siguientes problemas:

2.6.1 SEGURIDAD PERSONAL

Es de vital importancia en el lugar de trabajo contar con los requerimientos necesarios para trabajar de forma ordenada y segura, dentro de estos está el evaluar los sistemas eléctricos, cabe recalcar que la falta de un sistema de puestas a tierra adecuado ha producido diferentes problemas con personas que operan en áreas industriales donde las herramientas, motores o equipos generalmente tienen carcasas metálicas, desencadenando en electrificaciones y peor aún

electrocuciones; es por esta razón que la puesta a tierra es importante en el momento de ocurrir un desperfecto en dichas maquinas por falla de aislamiento o descarga eléctrica directa con la persona que opere.

Este tema específicamente refiere a la correcta conexión o aterrizaje de carcasas-estructuras- armarios o gabinetes por los cuales se fugara las corrientes de falla de equipos energizados o sobre voltajes y descargas atmosféricas; de esto depende en gran manera la seguridad de las vidas humanas involucradas.

Las descargas eléctricas pueden suceder si no existen estas conexiones y su gravedad depende de factores de humedad resistencia del cuerpo y ambientes como se muestra en la Tabla 1

TABLA 1: Estados en función de humedad y tensión de seguridad

Piel perfectamente seca (excepcional)	80V
Piel húmeda (normal)	50 V Ambiente seco
Piel mojada (más normal)	24 V Ambiente húmedo
12 V Ambiente sumergido	12 V Ambiente sumergido

2.6.2 RIESGOS DE LA ELECTRICIDAD EN LOS SERES HUMANOS

La composición del cuerpo humano en su mayoría es de agua, es decir forma parte de la sangre, los tejidos, órganos en general, esto nos da a entender que tiende a ser un buen conductor de electricidad.

Electrocución.-es el paso de corriente eléctrica externa por el cuerpo humano y riesgo de electrocución es la circulación de esa corriente.

Umbral de percepción.-es una sensación de un ligero cosquilleo sin daño para el 99.5% de las personas (a 60Hz: 1.1mA para hombres y 0.7mA para mujeres).

Electrización.- valor de la corriente que produce reacción en los músculos como contracciones mínimas (a 60Hz: 16mA para hombres y 10.5mA para mujeres).

La gravedad de una descarga eléctrica en el ser humano depende de muchos factores y puede ocasionar desde un malestar hasta la muerte.

Es conveniente tener presente siempre que el cuerpo humano es un buen conductor de la electricidad.

La resistencia normalizada del ser humano se toma de 1000 ohmios. Experimentalmente se mide entre las dos manos sumergidas en solución salina, que agarran dos electrodos y parado sobre una placa de cobre.

2.6.3 RELACIÓN ENTRE ENERGÍA ESPECÍFICA Y EFECTOS FISIOLÓGICOS

En esta Tabla 2 se puede observar los efectos que se pueden producir en el contacto directo de la piel con la intensidad eléctrica.

TABLA 2: Rangos de energía y los efectos fisiológicos

Energía específica mA	Percepciones y reacciones fisiológicas
4 a 8	Sensaciones leves en dedos y en tendones de los pies.
10 a 30	Rigidez muscular suave en dedos, muñecas y codos.
15 a 45	Rigidez muscular en dedos, muñecas, codos y hombros. Sensación en las piernas.
40 a 80	Rigidez muscular y dolor en brazos y piernas.
70 a 120	Rigidez muscular, dolor y ardor en brazos, hombros y piernas.

2.6.4 TENSIÓN DE PASO Y CONTACTO

2.6.4.1 TENSIÓN DE PASO

Es la máxima diferencia de potencial que se produce entre los pies de una persona en contacto con el suelo y con un metro de distancia, que camina en la subestación mientras ocurre una descarga a tierra sin necesidad de estar en contacto con un objeto aterrizado.

2.6.4.2 TENSIÓN DE CONTACTO

Es la diferencia de potencial que existiría cuando una persona este parada y su mano este en contacto con un elemento aterrizado sin energía y a un metro de distancia del mismo

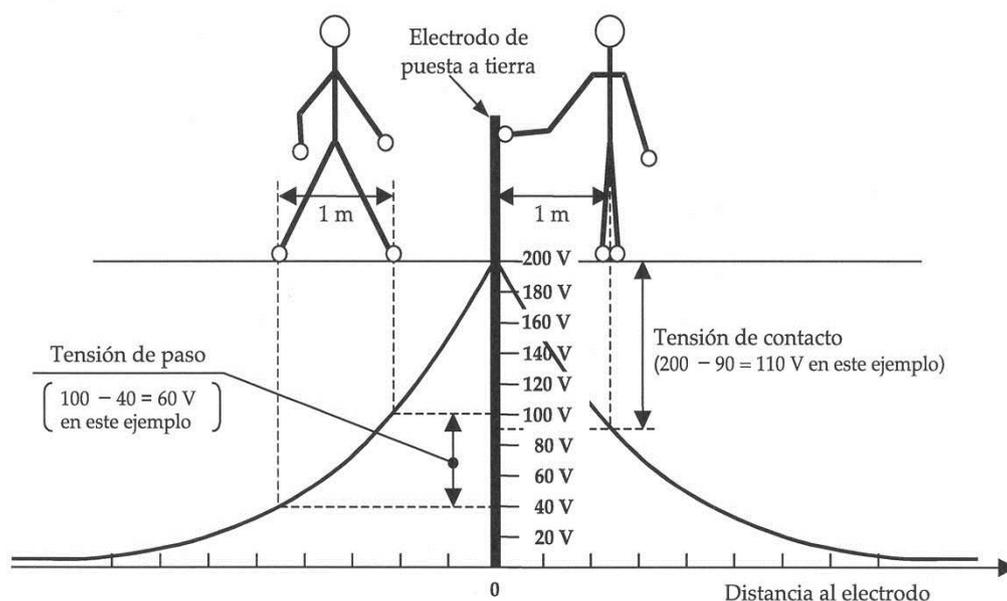


FIGURA 8: Tensión de contacto

Fuente (Reuters, 2016)

2.6.5 SOBRETENSIONES

Son valores por encima de los normales de voltaje, perturbaciones de corta duración que se dan por diversas causas internas o externas, pero que de todas formas afectan la tolerancia de componentes internos en los aparatos eléctricos.

Causas Externas

- **Descargas eléctricas:** son producidas por la caída de un rayo, el mismo que puede afectar directamente produciendo inducciones de alto valor en los conductores, Bethel (2011).
- **Maniobras de conmutación:** son las operaciones realizadas por el personal que despacha el suministro eléctrico, normalmente en secciones aéreas de distribución, Bethel (2011).
- **Contacto con Alto Voltaje:** se presenta al fracturarse una línea de alto voltaje y caer por inercia sobre las de bajo nivel de voltaje o de la falla en aislamientos en un transformador dependiendo de su conexión, Bethel (2011)

Causas Internas:

- **Fallas de línea a Tierra:** esto se da cuando la fase está en contacto con la tierra y depende de la conexión de su neutro la presencia de sobre voltajes; cuando el neutro es aislado las fases sufren una sobretensión y cuando el neutro es aterrado no hay sobretensión.
- **Pulsos por conexión y desconexión de cargas:** por lo general son normales en los sistemas eléctricos, se originan por el encendido y apagado de grandes cargas inductivas y capacitivas

2.7 TIPOS DE TIERRAS SEGÚN EL VOLTAJE A MANEJAR

Sistema a Tierra de corriente alterna: son los más comunes ya que la corriente alterna se presenta en todos los espacios y requerimientos para la sociedad, está asociada con los diferentes componentes de este tipo de alimentación, edificios, casas, industria, etc.

Sistema a Tierra de corriente continua: de igual forma constituyen todos los sistemas de aparatos electrónicos en los cuales también encontramos diferencias de potencial en corrientes y voltajes.

Sistema a Tierra electrostática: se refiere a todos los sistemas de almacenamiento, transporte y tratamiento, las reacciones producidas por interacción de sus fluidos.

Sistemas a tierra antiestática: diseñado por excelencia para desviar todas aquellas sobre corrientes de carácter estático con el mismo propósito de las demás.

Hay diferentes formas de mejorar la calidad de conductibilidad o resistencia del suelo ya que hay una amplia variedad de estos y dependen de factores como:

- Sales solubles
- Composición propia del terreno
- Estratigrafía
- Granulometría
- Estado higrométrico
- Temperatura
- Compactación

A continuación se detallara cada una de estas:

Sales solubles: La calidad del suelo en términos resistivos viene determinada por la cantidad de sales minerales o sales disueltas; es decir, Jiménez Castellano (2012), los electrolitos que permiten una mejor conducción de las corrientes circulantes por el suelo, por ejemplo por cada medida de tierra debe ser ideal 1% de sal en este, si existe una menor cantidad de esta en el suelo su resistencia será más elevada.

Composición propia del terreno: Es la composición natural en si del terreno o tierra, Gómez (2012) por ejemplo el suelo de arcilla se compone de entre 40 y 500 ohmios de resistencia, en el cual si queremos clavar una varilla a tres metros obtendríamos una resistencia a tierra de 15 a 200 ohmios, b fp5c o también el caso del suelo rocoso que tiene más de 5000 ohmios, en el cual sería imposible obtener una tierra de alta conductibilidad.

Estratigrafía: Se refiere a las capas de suelo que existen, a partir de los tres metros por ejemplo se puede encontrar ya otra clase de suelo de distintas características naturales lo cual influye en la variación de resistencia, Gómez (2012).

Granulometría: Permite acercarse de la capacidad del suelo para retener la humedad y su porosidad tal y como lo requiere una buena conducción de energía por ejemplo la grava tiene mayor resistencia que la arena y esta a su vez que la arcilla debido a que no existe uniformidad en su naturaleza y por lo tanto ofrece menor conducción, Gómez (2012).

Estado higrométrico: Tomando en cuenta las temporadas climáticas y tipos de suelo se puede decir que un terreno depende directamente de la humedad para tener buena o mala conducción, es decir en tiempos de sequía los terrenos se pueden volver obsoletos para formar un aterramiento ya que pierden su humedad, cabe recalcar que la resistencia del suelo es inversamente proporcional a la humedad del mismo, o sea si existe mayor humedad el suelo es bajo en resistencia y al contrario si hay poca humedad este se vuelve muy resistente, Gómez (2012).

Temperatura: Cuando la temperatura baja sube la resistencia del suelo tanto que se nota cuando llega a cero se congela el agua y es evidente que se modera el flujo de electrolitos considerando así la variación de conductibilidad de la tierra, Guerrero (2010).

Compactación: Donde existe un terreno compacto hay menor resistencia por tanto se prefiere ubicar sistemas de mallas de tierras" instaladas en terrenos más compactados que tienen la finalidad de un mejor funcionamiento, Gómez (2012).

Resistencia y resistividad: Son términos parecidos pero en realidad se debe saber identificar muy bien cada uno de ellos puesto que la resistividad está directamente involucrada con la medida de resistencia que presenta el suelo y se mide en ohm- m, esta depende del estado de humedad, profundidad, y composición propia del terreno en sales minerales y agua, además de la temperatura del suelo que puede variar plenamente de la época o estación climática.

La resistencia se refiere a la eficiencia del metal y tiene que ver con el electrodo y la capacidad de dispersar las corrientes aterrizadas, es por esta razón necesario realizar las mediciones de resistividad cada vez que se plantee una puesta a tierra, incluso después de realizar la puesta a tierra para comprobar y comparar el resultado del diseño.

La resistencia de un electrodo está dada por tres factores:

- La resistencia propia del electrodo
- La resistencia de contacto entre el electrodo y la tierra
- La resistencia del suelo desde la superficie del electrodo hacia el espacio que le rodea hacia el infinito

La combinación de una resistencia del electrodo, una buena resistividad del suelo, más la profundidad de la varilla enterrada, dan como resultado una puesta a tierra en condiciones óptimas, mismas que deben ser diseñadas para las condiciones más desfavorables y si la resistencia varía en un año en más del 20% de la normal se debe hacer los mantenimientos correctivos para mejorar su valor.

Según la IEEE 142-19991 las resistencias estándar que deben presentar las puestas a tierra dependen del lugar donde se requieran:

- Residenciales o en las que se instale un electrodo simple 25Ω
- Grandes subestaciones, líneas de transmisión distribución y estaciones de generación 1Ω
- Para subestaciones de plantas industriales, edificios y grandes instalaciones comerciales $1-5\Omega$

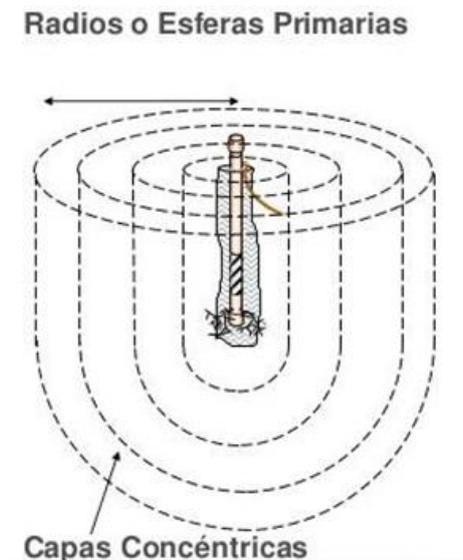
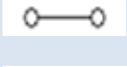
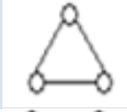
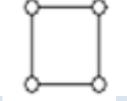
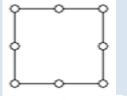
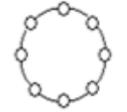


FIGURA 9: Grafica de la penetración de los electrodos
Fuente (Slideshare, 2016)

La profundidad a la que se entierre una varilla simple ofrecerá mayor facilidad de dispersión de las corrientes y voltajes no deseados, ya que al estar en contacto con la tierra en estratos más profundos se encuentra con mayor humedad y temperatura estable, alrededor de la varilla se crean conos concéntricos de igual distancia en una llamada esfera de influencia donde los conos más próximos a la varilla y de menor área presentan mayor resistencia, los consecuentes tienen mayor área y por tanto menor resistencia, hasta llegar a un punto donde la suma de los conos más lejanos no implica un aumento considerable en la resistencia total del electrodo.

La configuración y aumento de varillas presenta variaciones en la reducción de la resistencia del electrodo fabricado, al aumentar el número de varillas se logra aumentar las vías de disipación de las corrientes de fuga, En la Tabla 3 se detalla de forma puntual el porcentaje de reducción de la resistencia según la configuración de los electrodos .

TABLA 3: Configuración de varillas

Configuración	Descripción	Porcentaje de reducción de la resistencia de la malla
	2 electrodos en paralelo	Reducción al 55%
	3 electrodos en línea	Reducción al 35%
	3 electrodos en delta	Reducción al 38%
	4 electrodos en cuadro	Reducción al 35%
	8 electrodos en cuadro	Reducción al 35%
	8 electrodos en círculo	Reducción al 35%

2.8 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO

En algunas ramas se estudia el terreno desde su necesidad por tanto se estima que dichos estudios se realizan por ejemplo para determinar la profundidad de un suelo húmedo o grosor de un suelo rocoso, en el caso de la electricidad se estudia la resistividad del suelo, la alta resistividad de un suelo puede llegar a corroer tuberías subterráneas (Reina, 2012).

En algunos casos la medición del suelo no es necesario, es indispensable cuando los sistemas de aterramiento son de gran magnitud en los que se deberá buscar un lugar con un grado muy bajo de resistencia por motivos de eficiencia y economía. (Reina, 2012).

Para realizar estas mediciones se utiliza un telurómetro de cuatro puntas a tierra, en este equipo se inyecta corrientes con frecuencias distintas a la de la red, debemos inyectar un valor distinto a 60hz por motivos de interferencias en la medición, al estar cerca de una línea de alimentación o un subestación el telurómetro tiene la función de detectar voltajes inducidos a tierra con frecuencias de este valor,

“por tanto se obtendrán valores erróneos en la medición del suelo, lo mismo puede ocurrir si existen fallas en los contactos y puntas del equipo” (Rojas, 2010).

Este aparato debe tener cables blindados y con las características suficientes para no tener interferencia en sus mediciones, ya que estos cables son especiales cumplen con funciones como las de análisis y filtrado de resultados es decir, si la medición que se realiza arroja un resultado a una frecuencia de 100hz, este mismo resultado tendrá que mostrar inyectando una frecuencia de 150hz haciendo una medición efectiva y confiable (Rojas J., 2010).

Al utilizar un telurómetro se obtienen datos puntuales, por lo que la medición se realiza en varios sentidos: el primero en un sentido y a partir de este el próximo a 90°, los demás serán en formas diagonales (Morales, 2011). Como los datos no serán los mismos en todas las mediciones por geología del terreno se depreciara los datos que no estén dentro de un promedio o los que superen en un 50% estos valores por encima o debajo del mismo.

2.8.1 MÉTODO DE WENNER

El método Wenner según Guerrero, (2010) es la forma de calcular la resistividad del suelo independientemente de la calidad del electrodo; mediante la colocación de cuatro electrodos de forma lineal y en distancias iguales, de los cuales C1 y C2 serán los electrodos exteriores y en los mismos se inyectara una corriente con baja frecuencia y los dos electrodos P1 y P2 que se encuentran en el interior serán los puntos de medición del potencial.

La medición variara dependiendo de las distancias aplicadas, la distancia **a** debe ser la misma entre los electrodos y la distancia de enterramiento del electrodo **b** no debe superar la décima parte de la **a**.

También es recomendable realizar mediciones en giros de 90° variando las distancias entre las picas y su profundidad, esto con la finalidad de obtener un promedio exacto en los valores de resistividad del suelo aproximado al real

Se establece de la siguiente forma:

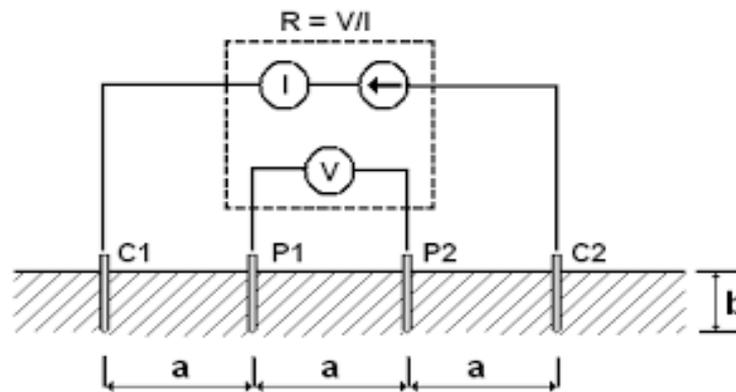


FIGURA 10: Método de Wenner

Fuente (FONADE, 2011)

Donde:

a: distancia entre electrodos (m)

b: profundidad de enterramiento de electrodos (m)

$$\rho_{\text{terreno}} = \frac{4\pi a * R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (\Omega\text{m})$$

ECUACIÓN 1: Método de Wenner

De otra forma, si $a \gg b$

$$\rho_{\text{terreno}} = 2\pi a * R \quad (\Omega\text{m})$$

ECUACIÓN 2: Método simplificado de Wenner

Donde:

ρ : Resistividad promedio a la profundidad (A) en ohm-m

A: Distancia entre electrodos en metros

B: Profundidad de enterrado de los electrodos en metros

R: Lectura del termómetro en ohm

2.8.2 MÉTODO DE SCHLUMBERGER

Es similar al método de Wenner se aplica el mismo procedimiento para la ubicación de los cuatro electrodos, la diferencia se especifica porque al medir se realizan desplazamientos en los electrodos exteriores obteniendo así valores distintos de medición en los electrodos fijos (Gómez, 2012).

La disposición de los mismos esta como se muestra en la gráfica:

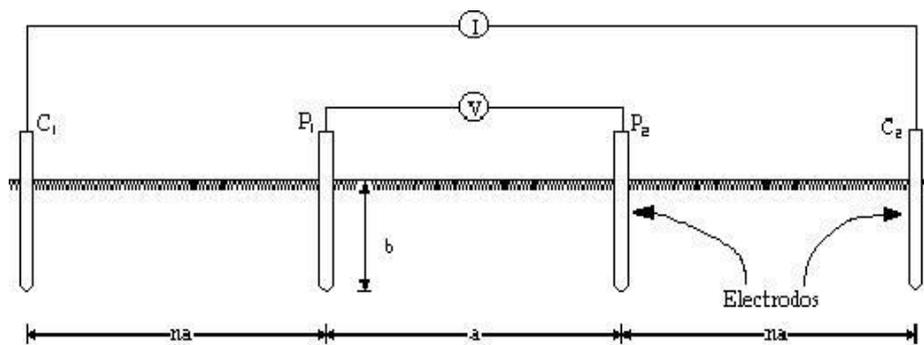


FIGURA 11: Configuración con el método de Schlumberger

Fuente (Gómez, 2012)

El método Schlumberger es utilizado para obtener datos a distintas capas y más profundas, en estas mediciones no se tienen muchas variaciones en la medición como es el caso en el método Wenner; a pesar de esta diferencia es importante destacar que en todos los sistemas de puestas a tierra hay formas de identificar y configurar su estructura por ejemplo si se va a empezar una construcción de aterramiento se debe establecer un cable externo desnudo de preferencia con el cual se haga la conexión a los distintos electrodos.

2.9 ESTRUCTURA DEL SUELO

El terreno es variable en función de su resistividad y esto depende de factores importantes como la humedad, por ejemplo si el contenido de humedad en un suelo es menor al 15% eleva considerablemente la resistividad del mismo como se puede ver en la figura; como también tiene mucho que ver la frecuencia y esto se refiere a las ocasiones en la que hay presencia de rayos que por su fenómeno eléctrico presenta variaciones muy rápidas.

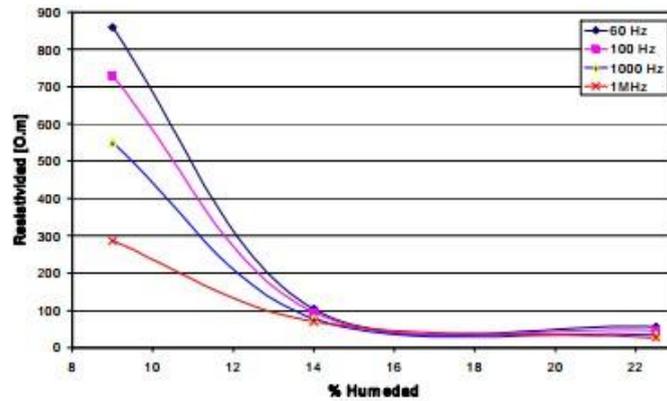


FIGURA 12: Variación de Resistividad y humedad a diferentes frecuencias

También están factores secundarios como el clima o componentes químicos, mediante el paso del tiempo se ha evidenciado que el suelo comprende capas y es necesario saber que para una instalación de puesta a tierra se debe saber cuántas capas existen en el sitio.

Además de esto existen características propias de la medición, En la Tabla 4 se detalla la resistividad existente en los diferentes tipos de suelo:

TABLA 4: Rango de resistividad del suelo

TIPO DE SUELO	RANGO DE RESISTIVIDAD(Ωm)
Lama	5-100
Humus	10-150
Limo	20-100
Arcillas	80-330
Tierra de jardín	140-480
Caliza fisurada	500-1000
Caliza compacta	1000-5000
Granito	1500-10000
Arena común	3000-9000
Basalto	10000-20000

Fuente (Cano, 2010)

2.10 MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE UNA PUESTA A TIERRA

La resistencia de una puesta a tierra está dada por los diferentes elementos que componen el suelo, sus estratos y capas que determinan la conductividad de los conductores involucrados, ahora bien, se presentan tres resistencias en la medición de una puesta a tierra de las cuales dos son casi despreciables con relación a la tercera

Resistencia del electrodo.- es la resistencia en si del metal, es despreciable frente a las demás resistencias.

Resistencia de contacto entre el electrodo y la tierra.- es la resistencia que existe entre la varilla y su íntimo contacto con el suelo, esta es despreciable si la varilla se encuentra enterrada en una tierra muy compacta, y además está exenta de pinturas o manchas que pueden impedir un contacto directo entre las partes involucradas.

Resistencia dela tierra circundante.- es la que determina en si la resistencia de puesta a tierra, puesto que depende plenamente de la resistividad del suelo y su capacidad para disipar corrientes provenientes del electrodo.

La resistividad del suelo tiene vital importancia en la medida de resistencia de una puesta a tierra, es por esta razón que antes de instalar una puesta a tierra se deben realizar las mediciones necesarias, mismas que determinaran los resultados de la resistencia del electrodo fabricado.

Existen diferentes métodos para realizar la medición de una puesta a tierra ya instalada entre los cuales el más común es el de caída de potencial

Método de tres puntos: Sin duda este es el método más utilizado entre los técnicos para medir la resistencia de un electrodo de puesta a tierra, el método de tres puntos o también conocido como método de caída de potencial como su nombre lo indica consta de tres puntos en los cuales se toma la medición a partir de tres cables por los cuales se inyecta una corriente en los extremos a una frecuencia que solo el teluometro es capaz de percibir y se registra una diferencia de potencial entre el extremo; mismo que está conectado a la varilla;

y el cable medio, obteniendo en un cálculo interno según la Ley de Ohm el valor de la resistencia, este método esta mejor detallado en la gráfica.

Para realizar esta medición o para realizar un mantenimiento, es necesario desconectar la malla de la red a la que pertenece en el caso de ser una puesta a tierra ya instalada, luego se clavan dos varillas en línea recta alejadas del electrodo por lo menos a una distancia en la que la esfera de influencia del electrodo no interfiera en a la medición, se pulsa el botón de set o start y el equipo da la lectura directa de la resistencia ya sea de una sola varilla o si están en paralelo conectadas más de estas.

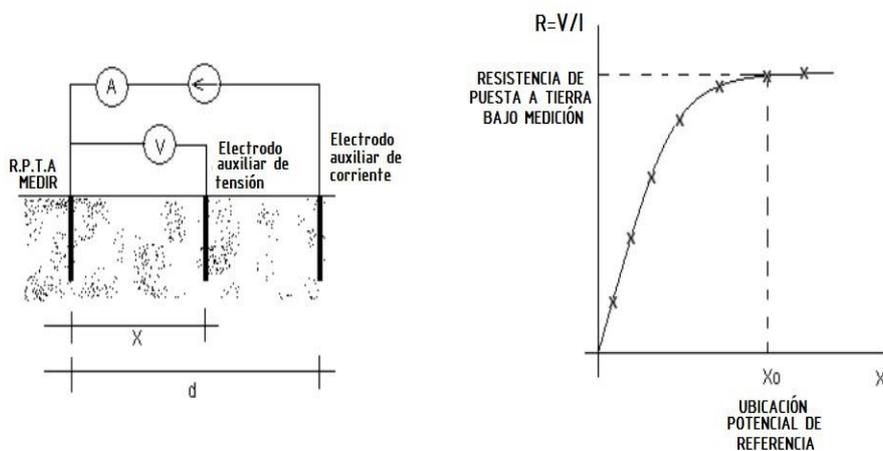


FIGURA 13: Sistema de puesta a tierra

Fuente (IHMC, 2016)

d: es la distancia de ubicación del electrodo auxiliar de corriente, la cual debe ser 6.5 veces la mayor dimensión de la puesta a tierra a medir, para lograr una precisión del 95% según la IEEE 81.

x: es la distancia del electrodo auxiliar del electrodo de tensión, la resistencia de puesta a tierra se calcula con ley de ohm y se mide en ohmios.

El valor de la resistencia de puesta a tierra que se debe tomar al aplicar este método, es cuando la disposición del electrodo auxiliar de tensión se encuentra al 61.8% de la distancia del electrodo auxiliar de corriente, siempre que el terreno sea uniforme.

Por lo general se aplica el 60% de la distancia total de espaciamiento entre el electrodo y la pica de corriente exterior. Es aconsejable realizar varias mediciones en diferentes direcciones con el fin de aumentar la confiabilidad de los resultados.

2.11 MODELACIÓN DE SUELOS

El suelo varia en su estratificación y su resistividad se ve afectada por varios factores, y así las mediciones no siempre son las mismas, por esta razón se recomienda realizar un modelamiento del suelo, los modelamientos más frecuentes son el de suelo homogéneo y el de dos capas, este último es el más usado por obtener los datos más aproximados a un promedio de suelo con varias capas de resistividad.

Los modelos de suelos que se asumen para realizar los estudios resistividad de un terreno dependen plenamente de la cantidad de capas que este posea, esto se establece desde la medición, en el distanciamiento de los electrodos y la variación de los valores de la lectura que arroje el equipo.

Modelo de suelo homogéneo.- que se trata cuando realizamos la medición en un suelo en el cual la variación de distancias de los electrodos no afecta en más de un 30% las lecturas, para efectos de modelación de suelo se asume el valor promedio como la resistividad del terreno

2.11.1 METODOLOGÍA BOX-COX

Para obtener un valor promedio real se aplica el método estadístico de Box-Cox, el cual consigue un valor con probabilidad del 70% de ser el real, mismo que servirá para cálculos de la puesta a tierra.

Este método se emplea de la siguiente manera:

- Se halla el promedio de la resistividad aparente X_p
- Se tabulan los valores de resistividad aparente p_i

- En la otra columna se calculan los cálculos de Ln de cada valor

$$X_i = \ln p_i$$

ECUACIÓN 3: Ln resistividad aparente

- Se halla Se la resistividad promedio X como:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} X_i}{n}$$

ECUACIÓN 4: Sumatoria de resistividades aparentes

- En otra columna se coloca el resultado de $(X_i - X)^2$
- Se calcula la desviación estándar S como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_i - X)^2}{n}}$$

ECUACIÓN 5: Desviación estándar

- De la distribución normal se toma Z para 70% que da 0.524411
- Se halla la resistividad (con la probabilidad de 70% de no ser superada) con la siguiente formula:

$$\rho = \text{Anti Ln} (S * Z + X)$$

ECUACIÓN 6: Resistividad promedio

2.11.2 CÁLCULOS SIMPLIFICADOS

La resistencia de una puesta a tierra fue formulada por Sverak como:

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

ECUACIÓN 7: Sverak, resistencia de puesta a tierra

Donde:

L_t: Longitud total de conductores enterrados en m.

ρ: Resistividad del terreno Ω-m

A: Área ocupada por la malla de tierra m².

H: Profundidad de la malla en m.

Modelo de suelo de dos capas.- se utiliza para cuando se presentan variaciones considerables en la medición, se obtiene un aproximado equivalente al estado real de un suelo, este método consiste en la modelación de una capa superior de profundidad finita y de diferente resistividad que la de la capa inferior de profundidad infinita.

En muchas ocasiones es posible determinar o asumir éste modelo a simple vista con la gráfica de resistividad aparente vs la profundidad obtenida mediante el método de Wenner.

En la Figura 14 se muestra el ejemplo de un software que se utiliza para diseñar una malla de puesta a tierra:

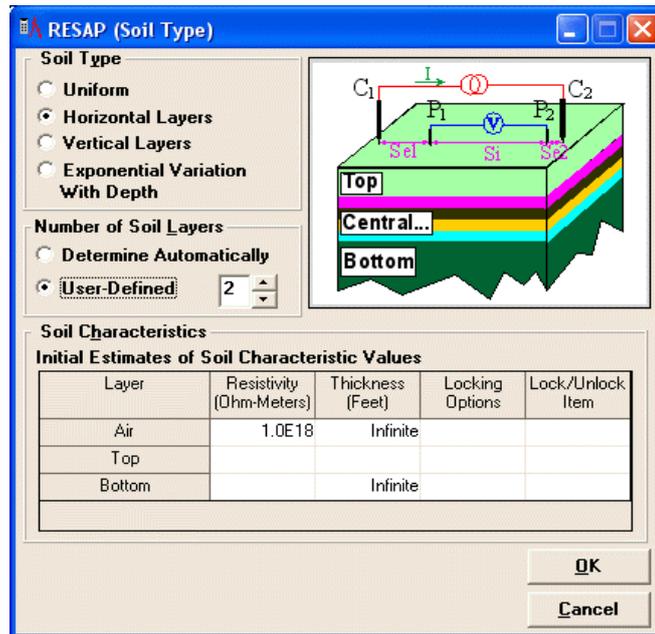


FIGURA 14: Software para el diseño de la malla a tierra

Fuente (RUEL2, 016)

Modelo de suelo multicapas.- este último se utiliza para suelos de condiciones muy complejas; el modelo de dos capas que es el más práctico.

En la actualidad existen softwares que simplemente nos sugieren el modelo de suelo a emplear según los datos que se introduzcan, es decir solo se ingresan los valores que arrojaron las mediciones de resistividad del suelo, el número de capas que se asume para el diseño y la resistencia que se espera obtener; con esto el programa solo envía la simulación de cómo se deben configurar y armar los electrodos en la malla, con sus datos característicos de dispersión de corrientes.

2.12 ESQUEMAS DE CONEXIÓN A TIERRA

2.12.1 LOS ESQUEMAS DE CONEXIÓN A TIERRA EN BT (REGÍMENES DE NEUTRO)

Según la norma IEC rigen esquemas de conexión a tierra tanto para los secundarios de los transformadores en baja tensión como para aterrizar la masa de los equipos eléctricos, con el propósito de evitar electrización o electrocución.

La identificación de los diferentes tipos de esquemas se expresa con dos letras, la primera para la conexión del neutro del transformador con dos casos posibles:

- **T.-** para conectado a tierra
- **I.-** para aislado de tierra

La segunda identifica el tipo de conexión de las masas de los receptores con dos casos posibles:

- **T.-** para masas conectadas directamente a tierra
- **N.-** para masas conectadas directamente a neutro

Con lo cual se puede obtener las siguientes combinaciones:

- **TT.-** neutro del transformador a tierra y masa conectada a tierra
- **TN.-** neutro del transformador a tierra y masa conectada a neutro
- **IT.-** neutro del transformador aislado de tierra y masa conectada a tierra

2.12.2 ESQUEMA TT

Es el más empleado en la mayoría de instalaciones por poseer unas excelentes características de protección a las personas y además poseer una gran economía de explotación. En España el 95% de las instalaciones usan este régimen de neutro incluyendo por ejemplo las instalaciones de alumbrado público (González, 2011)

En este esquema el neutro del transformador y las masas metálicas de los receptores se conectan directamente, y sin elemento de protección alguno, a tomas de muestras de tierras separadas.

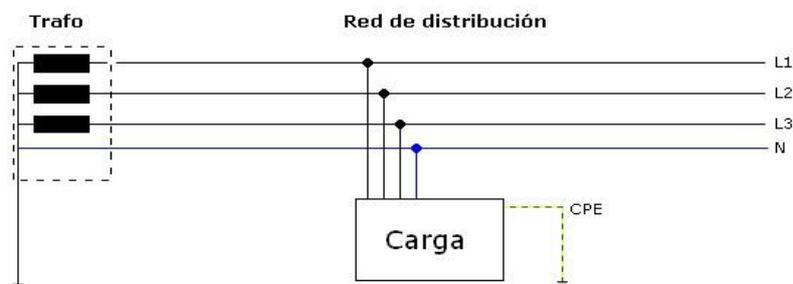


FIGURA 15: Esquema de modelo TT

Fuente (González, 2011)

2.12.3 ESQUEMA TNC

En el esquema TN-C los conductores de protección se conectan directamente al conductor de neutro. (Gómez, 2010) expresa que “En España no se permite usar este esquema si la sección del conductor de neutro es inferior a 16 mm²”.

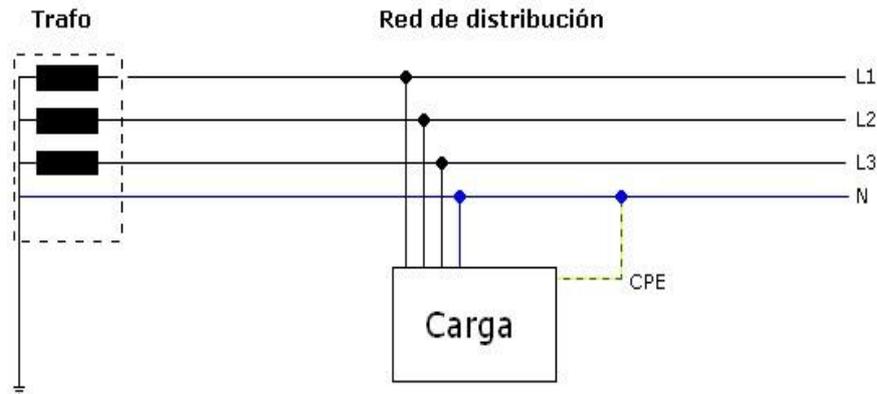


FIGURA 16: Esquema TN-C

Fuente: González, (2011)

2.12.4 ESQUEMA TNS

En el esquema TN-s los conductores de protección se conectan a un conductor de protección distribuido junto a la línea, y conectado al conductor de neutro en el transformador (Gómez, 2012)

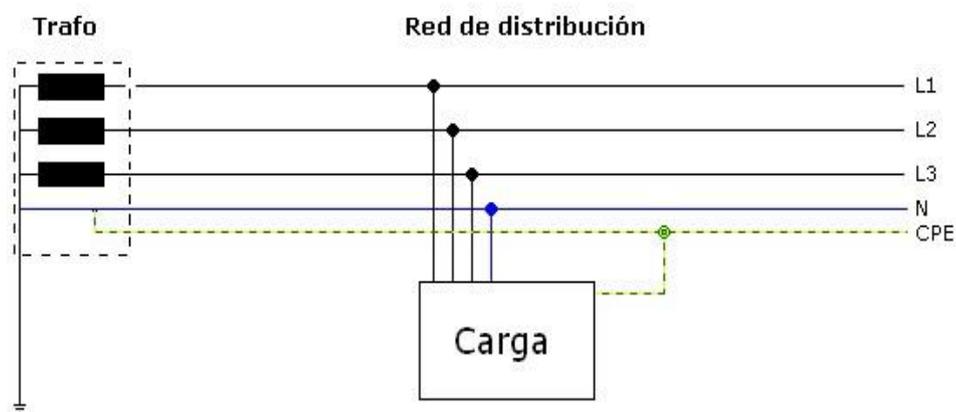


FIGURA 17: Esquema TN-S

Fuente: González, (2011)

2.12.5 ESQUEMA IT

Es el preferido en aplicaciones en las que la continuidad del servicio es crítica, como en quirófanos o industrias con procesos sensibles a la interrupción. (Gómez, 2010) manifiesta que en este esquema de conexión, “el neutro del transformador está aislado de tierra (o conectado a través de una impedancia de un elevado valor) y las masas metálicas conectadas a una toma de tierra exclusiva”.

Este es el esquema que ofrece una mayor continuidad de servicio, ya que corta el suministro al segundo defecto, a diferencia de los otros que lo hacen al primero. Ello se debe a que en un primer defecto la corriente se encuentra con una resistencia muy grande para retornar al transformador y se puede considerar un circuito abierto. Un segundo contacto provocará una circulación de corriente y actuarán los dispositivos de protección.

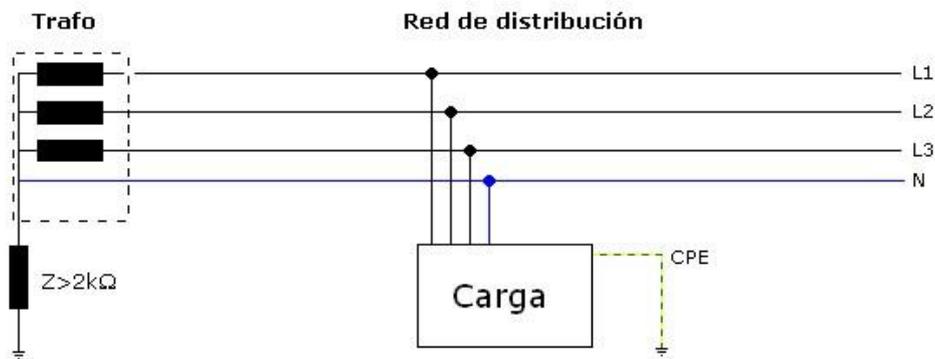


FIGURA 18: Esquema IT

Fuente (González, 2011)

2.13 TIPOS DE ELECTRODOS DE PUESTAS A TIERRA

El electrodo es el instrumento del sistema de puesta a tierra que está en directo contacto con el suelo siendo el principal e inmediato elemento por el cual se disipa la fuga de corriente, por tanto debe cumplir con ciertos requisitos tanto para su efectividad en el trabajo que realiza, como para alargar su tiempo de vida útil.

Deberá tener la sección necesaria para soportar el paso de corrientes de forma prolongada, y de igual manera tendrá que someterse a las condiciones del terreno, esto para evitar su fácil corrosión, los materiales utilizados como electrodos son el cobre, aluminio, acero galvanizado, acero inoxidable, y hierro (Morales O., 2010).

Este es el caso de la varilla copperwel que es de acero con un recubrimiento de cobre se prefiere y recomienda, lo que no ocurre con el aluminio ya que por su alto grado de oxidación presenta deficiencias en la conductividad.

No así la varilla Chem-Rod, que por su composición de sales minerales la hacen mucho más eficiente, capaz de garantizar una excelente resistencia de puesta a tierra durante su vida útil y pudiendo reemplazar a diez de las varillas convencionales sin dificultad.

Hay distintas formas de electrodos, a continuación se describirán cada uno de ellos: vertical, placas, horizontales y secundarios (Guerrero Castro, 2010).

Electrodo vertical o barra

Es el más conocido y empleado, por su construcción mecánica, por razones económicas obviamente, y fácil instalación, se encuentran en el mercado de distintos tamaños, se compone de un alma de acero de alta resistencia y una franja de cobre instalada electrolíticamente, lo que lo hace difícil de desprenderse en el caso de ser enterrado en un terreno de difícil acceso.

En suelos con alta cantidad de sal se usan barras de cobre puro con el fin de evitar la corrosión galvánica.

Placas

Menos conocidas por su bajo índice de instalación, generalmente se usan para graduar potenciales y no se obtienen los mismos resultados al momento de conducir las corrientes de falla.

Normalmente son placas cuadradas de cobre o hierro, desde 12mm de espesor.

Electrodos horizontales

Son hechas con cintas de cobre de alta conductividad y se utilizan para mejorar conexiones con electrodos verticales, en su defecto se puede decir que el mismo cable retorcido actúa como tal.

Su comportamiento es mejor a altas frecuencias, debido a la capacitancia levemente mayor a tierra, pero presenta cierta dificultad al instalar.

Electrodos secundarios

Su propósito es mejorar el comportamiento de un electrodo de tierra, pueden comprender tuberías enterradas verticalmente las cuales tienen un diámetro interno de 50mm y en cuyo interior se rellenan con sales metálicas en bruto o material recomendado como la Bentonita, y se tapan o sellan sus extremos, perforando en la parte superior para ventilación y en la inferior para drenaje.

Por el viento y los cambios en la presión atmosférica ingresa el aire por los huecos de ventilación permitiendo a través de la humedad y en contacto con las sales, formen una solución electrolítica que con su acumulación desciende a las perforaciones interiores de drenaje mediante osmosis formando una especie de raíces a su alrededor y así brindando una baja impedancia.

2.14 AGENTES EXTERNOS QUE DETERIORAN EL ELECTRODO

Es preciso manifestar que la duración del electrodo de puesta a tierra es limitada y más si el elemento de contacto directo es una tubería metálica no galvanizada, que a su vez está expuesta a condiciones de temperaturas altas y/o humedad produciendo así corrosión; por lo tanto aquí se revisaran los factores que inciden en su duración y las acciones a tomar para alargar su tiempo de utilidad.

La tubería debe ser de un material como el acero o hierro con una cubierta galvanizada con el fin de evitar la corrosión del mismo, para esto es importante saber que se deben ubicar o instalar en una zona bajo del nivel de humedad permanente.

Existen los electrodos superficiales los cuales vienen fabricado de un material metálico o conductor que pueden llevar componentes químicos que determinan su tiempo de vida útil según su composición, los mismos que por especificación técnica del fabricante se renovaran cada periodo de tiempo.

2.14.1 CORROSIÓN

La energía eléctrica se requiere en todos los sectores, incluyendo áreas rurales, sector urbano y áreas industriales. Los componentes de sistemas de puesta a tierra están instalados sobre y bajo el terreno y ambas situaciones están expuestas a un amplio rango de ambientes.

En aire, puede haber humo de plantas de proceso, o agua de lluvia que ha disuelto material en el aire. Bajo tierra, el ambiente húmedo puede incluir minerales presentes en forma natural, sustancias químicas (fertilizantes, etc.) o sustancias contaminadas que han sido enterradas.

Como se mencionó previamente, el sistema de puesta a tierra es una parte crítica del sistema de energía eléctrica y necesita comportarse bien, normalmente en forma oculta, durante un período de tiempo considerable. La seguridad requerida puede ser garantizada mediante una cuidadosa selección del material.

En aire la corrosión es causada normalmente ya sea por reacción química con soluciones en agua de lluvia que ha disuelto gases presentes en el aire o por partículas de polvo de procesos industriales. También puede ocurrir corrosión debido a conexiones bimetálicas no apropiadas o contacto con otros materiales. Este tipo de corrosión es la menos problemática y generalmente puede ser controlada por buenas prácticas de construcción, incluyendo selección de materiales.

Las normas indican la guía necesaria para esto. Por ejemplo, selección y adaptación de conexiones bimetálicas, incluyendo la orientación física, cómo excluir el agua, los materiales de contacto necesarios, etc. Las normas también incluyen una guía para colocación de conductores de tierra, por ejemplo la norma británica BS 7430 señala que los conductores de aluminio no deben ser instalados directamente en estructuras de concreto, debido al riesgo de corrosión.

Subterránea la corrosión toma lugar generalmente como una combinación de dos formas: la corrosión general uniforme que avanza hacia una pérdida total en peso del componente y la corrosión de desgaste en áreas pequeñas, selectivas. Este último tipo de corrosión puede ser seria para tubos pero menos importante para planchas o cintas de puesta a tierra.

También es importante considerar que hay otros equipos presentes en el área y que ellos pueden influenciar en el riesgo de corrosión. Por ejemplo, una tubería cercana puede ser instalada con un esquema de protección catódica de corriente impresa que puede interactuar con los nuevos sistemas de puesta a tierra. También puede existir un voltaje residual permanente en la instalación eléctrica que puede ya sea afectar la tasa de corrosión (influenciada por corriente alterna) o causar acción electrolítica en el entorno (influenciada por corriente continua).

Hay dos fuentes de corrosión general, que son la corrosión bimetalica y la corrosión química.

Corrosión bimetalica, cuando se unen metales diferentes en el interior de un fluido eléctricamente conductivo, tal como ocurre en la mayoría de las situaciones bajo tierra, existe la posibilidad de corrosión bimetalica. El metal corroído preferencialmente será el metal más susceptible. Este efecto de sacrificio se explota en muchas técnicas para reducir la corrosión. El metal más susceptible será aquel que es menos noble.

La Tabla muestra la escala de los metales más comunes en orden descendiente de nobleza. En presencia de un electrolito, el metal más noble se convierte en catódico respecto del metal de orden inferior, que se convierte en anódico. El metal anódico se corre.

El diseño debiera considerar que las componentes más pequeñas sean más nobles que las más grandes. La regla de las áreas proporciona un método para estimar el riesgo de corrosión galvánica. Para aplicarla, el área anódica (por ejemplo del acero) se divide por el área catódica (por ejemplo de cobre).

A medida que la razón entre las áreas anódicas y catódicas disminuye, la tasa de corrosión se incrementa drásticamente. Por ejemplo si una tubería de acero se une a una gran tubería de cobre, la razón de las áreas es pequeña y en condiciones apropiadas ocurre una rápida corrosión. Puede experimentarse un problema adicional, la corrosión severa en una junta entre metales diferentes, por ejemplo cobre y aluminio o cobre y acero. En aquellas partes donde la unión no esté protegida y sea accesible a la humedad, puede ocurrir un alza significativa en la resistencia de contacto eléctrico.

La implicancia de este tipo de corrosión, es que debe tenerse cuidado para asegurar compatibilidad entre diferentes metales empleados, es decir; el potencial eléctrico (indicado en la serie galvánica) entre ellos debe mantenerse en un mínimo para prevenir la acción galvánica. Un caso particular es la combinación de barras de tierra galvanizadas y barras de tierra de cobre.

La capa de zinc en las barras galvanizadas se comporta como el ánodo para el más noble cátodo de cobre. Puede entonces presentarse corrosión en la capa de zinc, dejando expuesto al núcleo de acero de la barra galvanizada, el cual a su vez ofrecerá una relativamente baja resistencia a la corrosión al suelo que los rodea. Note también que algunas veces la capa de zinc puede ser removida debido a la corrosión «general» del suelo (por ejemplo, en suelos con alto contenido de cloruro).

Corrosión química, el suelo puede ser neutro, ácido o alcalino. La acción química tomará lugar entre el metal y cualquier ácido o álcali en solución en el suelo. La tasa de corrosión será influenciada por la nobleza del metal, es decir; menor su nobleza, más rápidamente se corroe. Nuevamente las normas dan una guía; el material que rodea el electrodo es conveniente que sea relativamente neutro. Otros aspectos de la corrosión que debieran considerarse son:

- **Corrosión por fatiga** (esfuerzos internos). Pueden encontrarse fallas por fatiga bajo condiciones de sollicitación menos severa de la que podría esperarse cuando el efecto es agravado por la presencia de líquido o atmósfera corrosiva.

Puede verse acentuada en ambientes corrosivos especialmente en presencia de tensiones internas retenidas, causadas por trabajo en frío.

- **Corrosión por grietas.** Cuando se forma una grieta, como puede suceder en los pequeños espacios entre ambas partes de una pestaña o de juntas, puede formarse donde el agua es estática y probablemente llega a ser anaeróbica. Esto puede acelerar la corrosión en algunos metales, especialmente en el acero inoxidable común donde sus condiciones superficiales llegan a ser activas más bien que pasivas. Como se muestra en la tabla, esto alterará su posición en la serie electroquímica. Además, este tipo de corrosión puede afectar a las barras recubiertas con cobre. Si la capa de cobre se desgasta y remueve del núcleo de acero, la corrosión será más probable.
- **Descomposición de materia orgánica.** Esto implica el crecimiento de musgo, líquen y materias similares. El cobre no es afectado por esto y es inhóspito para el crecimiento de organismos.
- **Resistencia a la corrosión:** Aunque la resistencia a la corrosión no es tan fácil de cuantificar; como muchas otras propiedades mecánicas, afecta los costos de vida útil, por ejemplo una buena resistencia a la corrosión resulta en menores costos por falla del servicio. Esta es una de las muchas razones porque el cobre tan frecuentemente se selecciona como un material de ingeniería.
- **Oxidación atmosférica:** El cobre forma dos óxidos, ambos conductores. En aire húmedo se forma primero óxido cuproso y luego gradualmente oscurece hacia el pardo a negro del óxido cúprico. Cuando el cobre se calienta, el óxido de cobre se forma más rápidamente y puede perderse por templado en agua.

Cuando el cobre se encuentra a la intemperie y expuesto al agua de lluvia que contiene dióxido de carbono disuelto, se forma la típica pátina verde protectora. La pátina o los óxidos que se forman son relativamente delgados y forman una capa que inhibe la corrosión posterior.

El uso del cobre para puesta a tierra es más reciente y se ha comportado bien en la mayoría de las condiciones de suelo. La experiencia ganada con las tuberías de cobre enterradas es una manera útil de ilustrar esto y permite efectuar comparaciones. La figura 19 muestra el comportamiento galvánico de los metales, medido en agua salina. Los aceros inoxidable comunes se muestran con valores para condiciones de exposición pasiva normal, junto con las condiciones de superficie activa encontradas a menudo en grietas.

El cobre está hacia el rango más noble de la serie, pero tiene un precio significativamente menor que la mayoría de los metales nobles, lo cual nuevamente explica su uso para propósitos bajo tierra.

Es interesante indicar que además de sus buenas propiedades anti-corrosivas, el cobre es un elemento esencial en la dieta de humanos y animales y esencial en el crecimiento de la mayoría de las plantas. No se le considera normalmente como un metal tóxico nocivo.

2.14.3 EXPERIENCIA DE PRUEBAS DE CORROSIÓN EN TERRENO

Aunque se acepta que el cobre resiste bien la corrosión en condiciones normales de servicio, es útil recordar que solo los metales preciosos tales como el oro y el platino resisten la corrosión bajo cualquier circunstancia.

Han ocurrido fallas ocasionales en el cobre cuando las condiciones del suelo han sido inusualmente agresivas y se ha ganado suficiente experiencia como para dar orientaciones sobre las condiciones del suelo que debe evitarse con el objeto de obtener para el cobre una vida de servicio pleno.

Debido al gran número de variables encontradas en servicio, los ensayos acelerados realizados en laboratorios han sido de uso limitado.

Las pruebas de campo realizadas en condiciones de servicio rigurosamente monitoreadas, han probado lejos una mayor confiabilidad. Los resultados de algunas de estas pruebas se resumen en la siguiente tabla.

Efecto de características del suelo y del clima en la corrosión											
Prueba	Suelo	Tasa de corrosión promedio, pulgadas x 10 ⁻³ /y					Características de suelo y clima				
		Cobre	Latón	Plomo	Acero	Hierro Fundido	Temp. °F Media	Precipitación Anual (Pulgadas)	Humedad %	pH	Resistividad Ω-cm
67	Ceniza	1,58	3,51	3,32	9,67	>20	46	30	11	8,0	455
43	Pantano de marea	0,81	0,04	0,02	2,13	2,51	52	43	55	3,1	60
63	Pantano de marea	0,62	0,011	0,004	1,44	1,09	66	45	47	2,9	84
60	Turba	0,91	0,64	0,07	2,77	3,82	49	37	43	2,6	218
33	Turba	0,17	0,25	-	1,81	2,47	46	30	73	6,8	800
58	Materia descompues	0,29	0,49	0,64	2,61	3,59	69	57	58	4,0	712
29	Materia descompues	0,16	0,39	0,36	2,27	3,90	69	57	34	4,2	1270
45	Suelo alcalino	0,04	0,02	0,02	1,23	2,00	47	15	15	7,4	263
64	Arcilla	0,60	0,30	0,05	>20	>20	58	16	41	8,3	62
56	Arcilla	0,11	0,14	0,12	4,67	>20	69	49	29	7,1	406
61	Arcilla	0,05	0,18	1,58	0,93	1,26	69	57	31	5,9	943
27	Arcilla	0,016	0,06	0,05	0,82	0,68	67	56	43	6,6	570
28	Adobe de arcilla	0,11	0,11	0,07	2,59	3,84	61	10	25	6,8	408
5	Adobe de arcilla	0,04	0,08	0,45	0,70	1,06	56	23	29	7,0	1346
3	Marga de arcilla	0,04	0,10	0,06	0,60	0,57	61	48	29	5,2	30000
8	Marga de arcilla	0,03	0,03	0,06	0,97	3,06	49	21	37	7,6	350
25	Marga de arcilla	0,016	0,07	0,03	2,4	0,51	46	30	26	7,2	2980
36	Marga arenosa	0,26	0,07	0,03	0,30	0,16	64	53	14	4,5	11200
10	Marga arenosa	0,12	0,33	0,09	0,60	0,79	50	41	13	6,6	7460
12	Marga fina arenosa	0,40	0,31	0,12	0,49	0,36	62	15	12	7,1	3190
16	Marga fina arenosa	0,08	0,24	-	0,97	1,36	67	61	22	4,4	8290
37	Arena fina	0,23	0,21	-	1,00	2,14	69	47	7	3,8	11200
31	Arena fina	0,012	0,03	0,019	0,35	0,26	69	47	3	4,7	20500
66	Marga de grava fina	0,08	0,18	0,025	3,08	0,73	70	8	16	8,7	232
6	Marga de arena fina	0,014	0,02	0,018	0,16	0,08	51	34	12	5,9	45100
4	Marga	0,03	0,20	0,19	0,84	1,48	54	40	22	5,6	6670
35	Marga	0,02	0,03	0,02	0,16	0,26	62	15	18	7,3	2060
23	Marga de sediento	0,18	1,06	-	2,54	4,76	65	6	25	9,4	278
1	Marga de sediento	0,08	0,14	0,18	1,22	1,89	49	34	29	7,0	1215
20	Marga de sediento	0,05	0,06	0,28	0,80	1,10	49	34	22	7,5	2870
19	Marga de sediento	0,05	0,17	0,04	0,46	0,60	50	32	28	4,6	1970
18	Marga de sedientol	0,010	0,03	0,016	0,35	0,47	51	28	28	7,3	1410

FIGURA 20: Efecto de las características del suelo y del clima en la corrosión
Fuente (Morales, 2011)

La tabla es condensada de la publicación Underground Corrosion National Bureau of Standards (USA) 450pp, November 1945 y muestra resultados obtenidos en ensayos de campo con períodos de exposición que van de cuatro a trece años.

Se estudiaron los efectos de muchas variables sobre las tasas de corrosión de cuatro metales comúnmente usados en instalación de tuberías subterráneas.

El rango de resultados fue amplio y mostró efectos diferentes en cada metal. Generalmente, la durabilidad del cobre fue muy evidente cuando se comparó con acero o hierro fundido.

Se realizó ensayos también con acero galvanizado (915 gr/m²) que había mostrado dar alguna extensión a la vida útil, pero es muy poco efectivo después de cinco años.

2.15 PASOS TEÓRICOS PARA REALIZAR EL DISEÑO DE UNA MALLA A TIERRA

Determinación del lugar o espacio: Es necesario saber la disponibilidad de espacio que se tiene para la ubicación de la puesta a tierra, se recomienda realizar en sitios despejados que pueden ser áreas verdes o simplemente espacios que no se empleen a futuro en alguna modificación estructural.

Así como también es importante identificar el tipo de suelo en el que se va a trabajar por ejemplo si una edificación tiene un jardín, es preciso ese lugar para una malla a tierra; o en una subestación el lugar más apropiado para la puesta a tierra es cerca del transformador.

Materiales y herramientas a utilizar: Principalmente se requiere del teluometro para realizar la medición de resistividad del suelo, cable desnudo de preferencia 2/0 para mejor conductibilidad y facilidad de maniobra en el trabajo con la suelda, varillas de acero cubiertas en cobre o jabalina, moldes con las sueldas exotérmicas para un mejor trabajo y una conducción segura, carbón y sales minerales según los requerimientos de mejorar la calidad del terreno o agentes químicos tales como bentonita o GEM.

Medición de la resistividad del suelo: Se debe medir la resistividad del terreno en el lugar elegido para la instalación de la puesta a tierra determinando la o las capas que deban aplicarse en los cálculos; este estudio se debe realizar en temporada de verano o de menor humedad por condiciones de baja conductividad en el terreno.

Para esto se aplicara el método más usual que es el de Frank Wenner y consiste en la inyección de corriente por medio de electrodos en los extremos de una determinada fracción de suelo y otros dos electrodos situados entre ellos a distancias iguales que medirán la diferencia de potencial que se genera por efecto de la inyección de corriente, como se indica a continuación

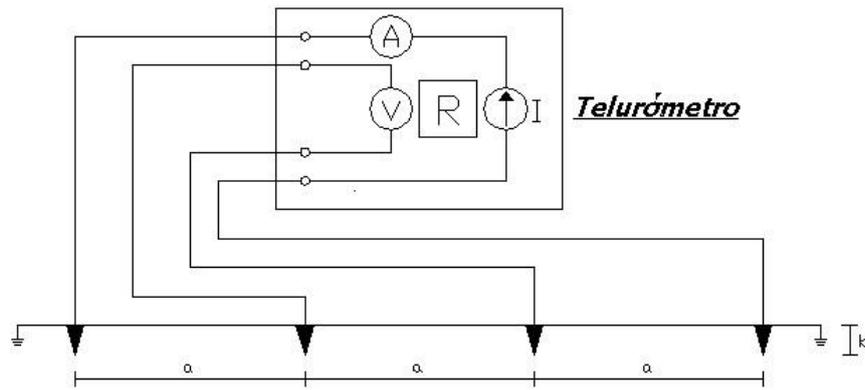


FIGURA 21: Método de los cuatro electrodos o de Wenner
Fuente (Cano, 2010)

Ejemplo:

Se ha instalado varillas de toma de corriente de dos metros de longitud en su sistema de conexión a tierra, para medir la resistividad del terreno a dos metros de profundidad y por tanto se debe dejar una distancia entre electrodos en este caso dos metros.

Para medir la resistividad del terreno, y lea el valor de la resistencia en Ohmios. Supongamos que en este caso el valor de resistencia es de 100 Ohmios. De acuerdo a esto, en este ejemplo sabemos que:

A= 2 metros y,

R = 100 Ohmios

Por tanto, aplicando la **Ecuación 2** la resistividad del terreno sería:

$$\rho: 2 * \pi * A * R$$

$$\rho: 2 * 3.1416 * 2 \text{ metros} * 100 \text{ ohmios} \rho: 1256.63\Omega.m$$

Modelamiento del suelo: El modelamiento del suelo se basa en la toma de mediciones del suelo por parte del técnico y en base a los datos obtenidos tener una aproximación en lo posible a la de un suelo real, es decir se propone un tipo de suelo según las mediciones que arroje el equipo y según los requerimientos de resistencia de puesta a tierra.

Ahora se sabe que el suelo puede variar según su estratificación, número de capas, composición y demás características, es por eso que se plantea un modelo a partir de las mediciones que se obtienen de la resistividad del terreno, por si hay un terreno irregular y de diferentes valores resistivos se plantea o asume el modelo que más convenga y sea preciso diseñar.

Con lo señalado en estos pasos de diseño teórico se procede a fabricar el electrodo de puesta a tierra tomando en consideración las lecturas de resistividad y modelamiento de suelos que se asume, el diseño podría variar dependiendo del número de varillas que se implementen, esto de acuerdo al valor deseado en la resistencia del electrodo.

Es importante que ya hecha la instalación se verifique los valores de resistencia con los esperados previo al diseño de la misma, con todo lo indicado es posible profundizar temas de estudio y analizar más detalladamente el tema de las puestas a tierra que tan útiles son para el normal y seguro desempeño de la industria y en general el salvaguardar vidas.

2.15.1 CÁLCULOS DE DISEÑO PARA REALIZAR UNA PUESTA A TIERRA

Los cálculos desarrollados a continuación, evalúan las prácticas actuales de diseño y construcción de sistemas de puesta a tierra utilizados en el sistema de la Universidad Técnica del Norte, además de revisar la estandarización de materiales utilizados para el efecto, con la finalidad de proponer un diseño mejorado que garanticen una operación confiable y segura de las instalaciones.

2.15.2 CALIBRE DEL CONDUCTOR DE TIERRA

Con la finalidad de proponer en forma estandarizada el conductor más apropiado para la unión del electrodo de puesta a tierra y el equipo a proteger (transformador), resulta indispensable realizar los cálculos pertinentes que justifiquen su utilización, considerando los parámetros de operación del sistema.

2.15.3 CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO EN BAJA POTENCIA

Se ha considerado las formulas y ecuaciones sugeridas en los textos relacionadas con puestas a tierra, en las cuales se realiza una aproximación que permita obtener de manera simplificada la corriente de cortocircuito del equipo a ser protegido.

Para el cálculo se ha tomado las siguientes consideraciones:

- La reactancia del transformadores la reactancia del sistema.
- La capacidad de ruptura del interruptor, es igual a la corriente de cortocircuito.

Las ecuaciones a utilizar son las siguientes:

$$KVAcc = \frac{KVA}{X_{pu}}$$

ECUACIÓN 8: Potencia de cortocircuito

$$I_{cc} = \frac{KVAcc}{\sqrt{3} + V}$$

ECUACIÓN 9: Corriente de cortocircuito trifásico

Para transformadores monofásicos:

$$I_{cc} = \frac{KVAcc}{V}$$

ECUACIÓN 10: Corriente de cortocircuito monofásico

Donde:

KVA = Potencia nominal del transformador. KVA_{cc} = Potencia de cortocircuito en (MVA). V = Voltaje del sistema en (kV).

X_{pu} = Reactancia del transformador en por unidad. I_{cc} = Corriente máxima de cortocircuito.

I_{ccS} = Corriente máxima de cortocircuito en el secundario (kA)

I_{ccP} = Corriente máxima de cortocircuito en el primario (kA)

La información de los valores de reactancia de los transformadores se obtuvo de la base de datos de la empresa eléctrica local; tomando como valor promedio 3% para efectos de cálculo.

Las corrientes de cortocircuito serán calculadas para las potencias típicas de transformadores de distribución existentes como se muestra en la Tabla 5.

TABLA 5: Corrientes de cortocircuito de transformadores monofásicos

Monofásicos (KVA)	$I_{cc P}$ (A)	$I_{cc S}$ (A)
5	26.5	1388.9
6	31.7	1666.7
8	42.3	2222.2
10	52.9	2777.8
12.5	66.1	3472.2
15	79.4	4166.7
25	132.3	6944.4
37.5	198.4	10416.7
50	264.6	13888.9

Fuente (Autor, 2016)

En la Tabla 6 se puede observar Corrientes de cortocircuito de transformadores trifásicos.

TABLA 6: Corrientes de cortocircuito de transformadores trifásicos

Triásicos (KVA)	Icc P (A)	Icc S (A)
30	91.6	2621.0
45	137.5	3931.5
50	152.7	4368.3
75	229.1	6552.5
100	305.5	8736.6
112.5	343.7	9828.7
125	381.8	10920.8
150	458.2	13104.9
200	611.0	17473.2
300	916.4	26209.9
400	1221.9	34946.5
500	1527.4	43683.1
600	1832.9	52419.7
750	2291.1	65524.7
800	2443.8	69893.0
900	2749.3	78629.6
1000	3054.8	87366.2

Fuente (Autor, 2016)

Para cálculos de diseño de mallas en lo que no requiere de tanta precisión o ingeniería se pueden aplicar valores como los que detalla la tabla y determinar la resistencia del electrodo fabricado según estas corrientes de cortocircuito, caso contrario si se desea diseñar una malla con requerimientos técnicos y apegado a las normas se aplicarían cálculos más detallados según el lugar de instalación, esto dependiendo de la potencia en MVA, reactancias e impedancias de la red que se determinarían previo características de la subestación aguas arriba, y además está la potencia del transformador de distribución involucrado.

Se determinarían las corrientes de cortocircuito en el lado primario y secundario del transformador, más los valores obtenidos previo medición de la resistividad del suelo, para ingresar estos datos en el software dedicado mismo que muestra la simulación desde diferentes parámetros de diseño.

A continuación se detalla el proceso a seguir para determinar el diseño de una puesta a tierra partiendo de fórmulas simplificadas, los datos ingresados en el software son datos sencillos que se obtienen de una medición real o en placa de características, datos proporcionados por la empresa eléctrica local o por conocimiento, y que al ingresar en el software se desarrollan en fórmulas de forma compleja, mismas que manualmente tomarían mucho tiempo en relación al tiempo que demora el cálculo digital; con esto se simplifican el proceso de diseño.

Partiendo del valor de resistencia específica del suelo se calcula la resistividad usando la **Ecuación 2** como anteriormente se explicó:

$$\rho: 2 * \pi * A * R$$

Ahora en el software se requieren los múltiples datos de resistividad del suelo, valores de potencia de la red de distribución, corriente de cortocircuito en el secundario del transformador, potencia y voltajes de servicio y cortocircuito, valores que se obtienen como dato y que se calculan como:

Corriente de cortocircuito en el secundario del transformador:

$$I_{cc} = \frac{100 * S}{\sqrt{3} * U_s * V_{Cc}}$$

ECUACIÓN 11: Corriente de cortocircuito en el secundario del transformador

Donde:

I_{ccs}: corriente de cortocircuito en el secundario del transformador (A)

S: potencia nominal del transformador (KVA)

U_s: tensión en el secundario (V)

V_{cc}: tensión de cortocircuito en el transformador (%)

En la actualidad existen muchos programas de diseño de mallas de tierra mismos que varían por su software, pueden cambiar los tipos y opciones de parámetros para configurar y utilizar para el diseño así como también mostrara informes como son:

Análisis del suelo, y modelado, número de varillas, tejido de la malla, disposición de la cuadrícula y su longitud, el comportamiento de la malla frente a las corrientes a dispersar, diagramas de contorno de potencial 2D y 3D, perfil de potencial y dimensionamientos.

En la Figura 21 y la Figura 22 se dibujan automáticamente los datos de resistividad ingresados en función de la profundidad de exploración al momento de medir el terreno, obteniendo como resultado la curva de resistividad.

Los puntos rojos son los datos de resistividad aparente vs separación de electrodos, que se obtienen del promedio del número de mediciones en campo, luego se traza la curva con los puntos que comprenden la misma y se rechaza los que no coinciden.

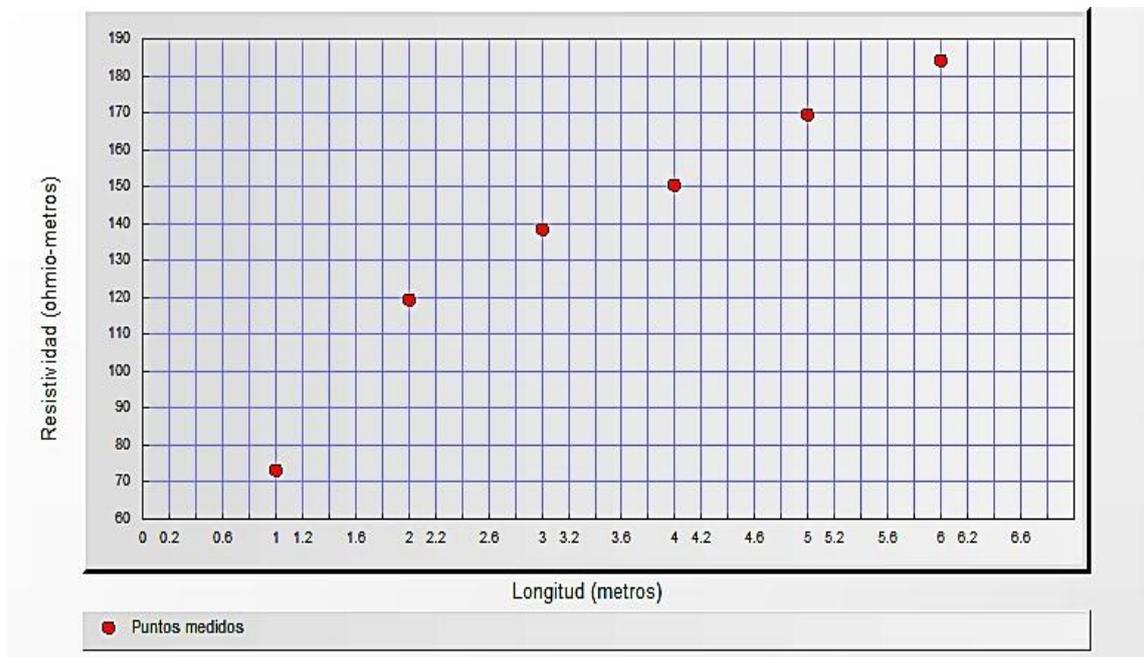


FIGURA 22: Resistividad vs profundidad

Fuente (Autor, 2016)

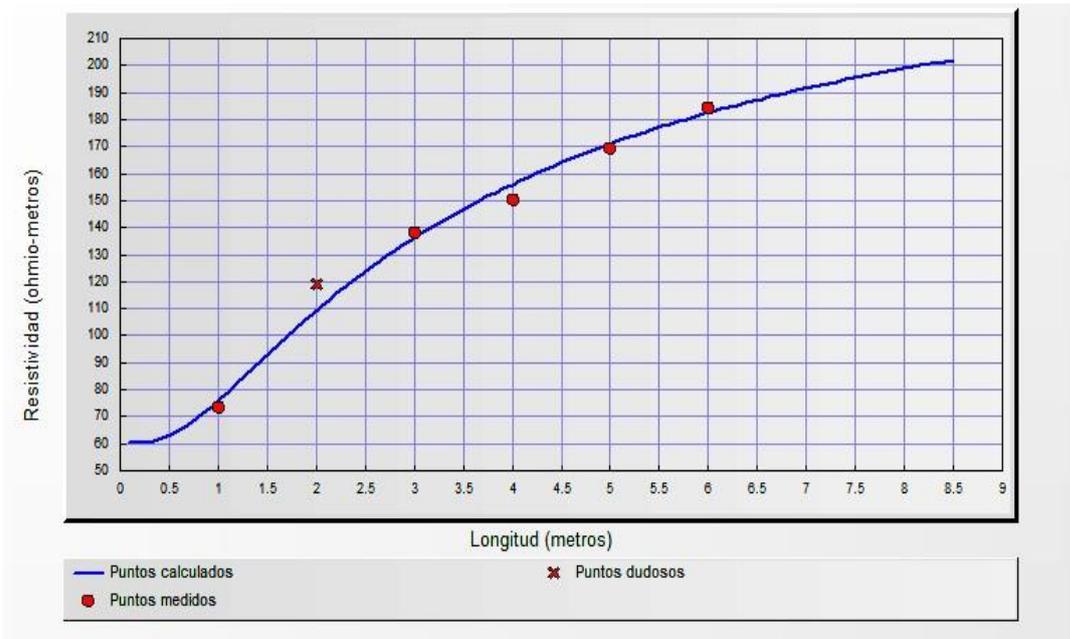


FIGURA 23: Curva de resistividad

Fuente (Autor, 2016)

En la Figura 23 se ve los modelos que se generan de la malla simulada, su longitud y su configuración reticulada 3D, este modelo se plantea suponiendo el área disponible de terreno, y sus dimensiones son de 12 x 4 metros y la profundidad depende de la longitud de la varilla a utilizarse, por lo general se entierran a partir de los 0.5 metros de profundidad las varillas copperwel de 1.80m-5/8".

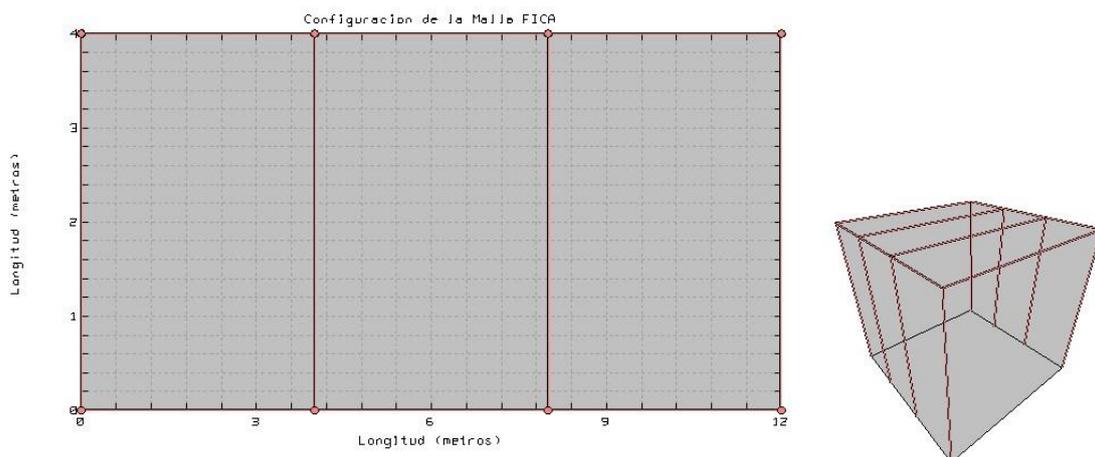


FIGURA 24: Dimensiones y modelo 3D de la malla

Fuente (Autor, 2016)

En el Figura 24 se muestra el comportamiento del potencial en 2D, que se dispersa en el momento de una posible descarga de puesta a tierra, las líneas de dispersión de potencial muestran la dirección que tomaría la corriente al momento de disiparse en el suelo, tomando en cuenta los ocho puntos desde donde se despiden las mismas.

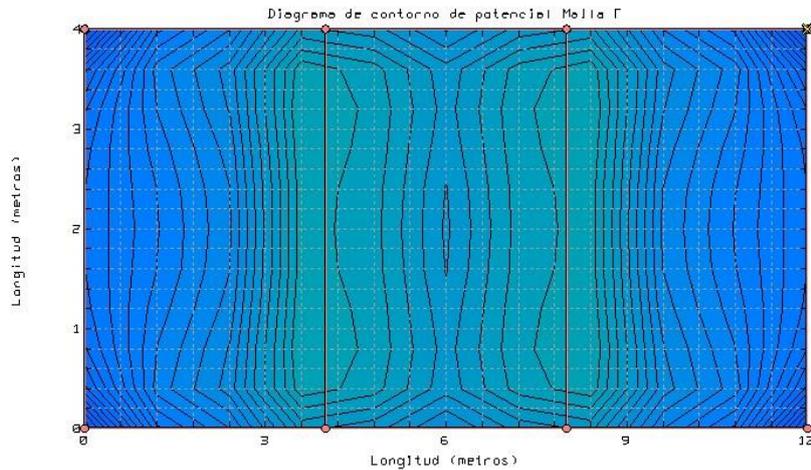


FIGURA 25: Líneas de dispersión
Fuente (Autor, 2016)

En la siguiente figura se observa el comportamiento de las líneas de dispersión de potencial en 3D, y las profundidades de penetración de estas líneas dentro del suelo, mostrándose para mejor visualización.

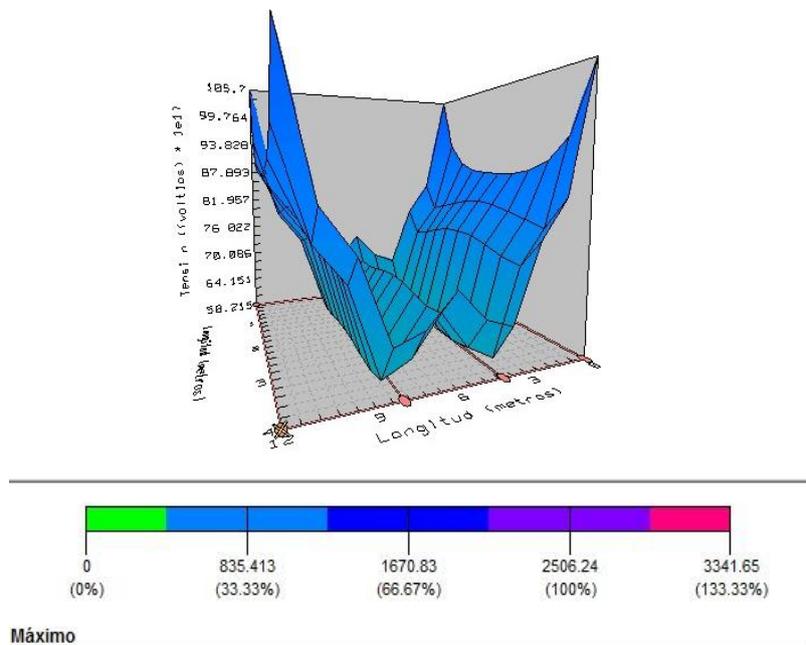


FIGURA 26: Líneas de dispersión
Fuente (Autor, 2016)

La grafica muestra realmente la forma de dispersión del voltaje y su color varía en función de los valores predeterminados por las cifras máximas de voltajes de paso y contacto, que se representan de otra forma en la siguiente figura de una manera simplificada.

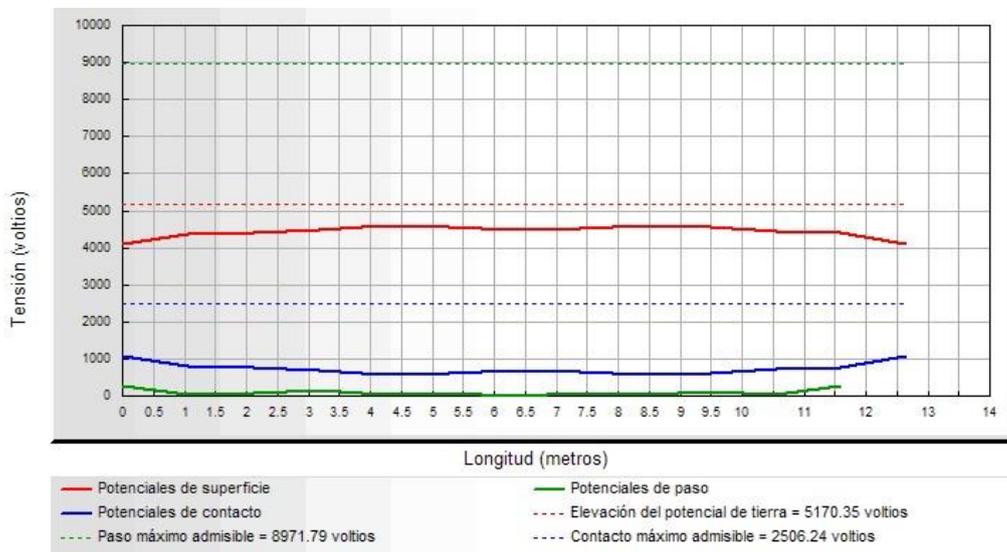


FIGURA 27: Voltajes máximos de paso y contacto

Fuente (Autor, 2016)

Su interpretación consiste en que las líneas punteadas indican el máximo de cada tensión y las líneas continuas son las obtenidas por la malla diseñada, es decir para un diseño de puesta a tierra estos valores son buenos y representan una simulación de acuerdo a lo requerido según las normas técnicas.

Calibre del Conductor: La corriente de cortocircuito calculada en el secundario de un transformador, es un factor determinante en el dimensionamiento del conductor de puesta a tierra a elegir; cuya área transversal es determinada mediante la expresión sugerida por la IEEE std.80:

$$A_{mm^2} = \frac{I_{ccS} * \sqrt{T_c} * K_f}{1.945}$$

ECUACIÓN 12: Calibre del conductor

Donde:

I_{ccS} = Corriente máxima de cortocircuito (kA) T_c = Tiempo de despeje de falla (s)

K_f = Constante para diferentes materiales a diferentes temperaturas de fusión(T_m) y una temperatura ambiente de 40°C

El valor máximo de corriente de cortocircuito, y por lo tanto el más peligroso, es el que se obtiene en el lado secundario (I_{ccs}) de un transformador reductor, razón por la cual tomamos este valor para elegir el conductor de puesta a tierra de nuestra instalación.

Según normas referentes a "Estructuras Tipo" especifica como materiales de puesta a tierra el uso de conductor No.2 de cobre AWG; el cual según la Tabla NEC 250-122 del toma un valor de K_f de 3.1.

El tiempo de despeje de falla es determinado por estudios de estabilidad; tomando para efectos de cálculo un valor de 0.5s, bajo estas condiciones, se presenta en la Tabla 7 y la Tabla 8 los conductores recomendados para utilizar como bajantes y contrapesos en transformadores aéreos de distribución.

TABLA 7: Calibres recomendados para transformadores monofásicos

Monofásicos (KVA)	I_{ccS} (A)	Área del conductor (mm ²)	Calibre AWG-MCM
5	1388.9	3.8	10
6	1666.7	4.5	10
8	2222.2	6.0	8
10	2777.8	7.6	8
12.5	3472.2	9.4	6
15	4166.7	11.3	6
25	6944.4	18.9	4
37.5	10416.7	28.3	2
50	13888.9	37.8	2

Estos son calibres de conductor estandarizados en esta tabla para transformadores trifásicos de distribución, de acuerdo a las normas estos cables varían según cálculo de diseño, es decir se pueden utilizar en los diseños de redes pero lo más indicado es realizar el cálculo específico dependiendo de los requerimientos técnicos de la configuración ya sea de redes.

TABLA 8: Calibres recomendados para transformadores trifásicos

Trifásicos (KVA)	IccS (A)	Área del conductor (mm ²)	Calibre AWG-MCM
30	2621.0	7.1	8
45	3931.5	10.7	6
50	4368.3	11.9	6
75	6552.5	17.8	4
100	8736.6	23.8	2
112.5	9828.7	26.7	2
125	10920.8	29.7	2
150	13104.9	32.6	2
200	17473.2	47.5	1/0
300	26209.9	71.3	3/0
400	34946.5	95.1	4/0
500	43683.1	118.8	250mcm
600	52419.7	142.6	300mcm
750	65524.7	178.2	350mcm
800	69893.0	190.1	400mcm
900	78629.6	213.8	500mcm
1000	87366.2	237.6	500mcm

Ejemplo de Cálculo:

Para un Transformador trifásico 180kVA se tiene una corriente de cortocircuito máxima de 13.1 KA: si utilizamos un conductor de cobre, tenemos la siguiente área transversal, para ello utilizamos la Ecuación 12 como se muestra a continuación:

$$A_{mm^2} = \frac{10.9KA * \sqrt{3s} * 3.1}{1.945} = 29.7mm^2$$

El área transversal obtenida está entre los valores del conductor No.2AWG y No.4AWG; para lo cual por motivos de seguridad se elige el conductor de área inmediatamente superior es decir el No.2AWG.

A manera de estandarización de materiales para instalaciones de sistemas de puesta a tierra, se propone la utilización del conductor de puesta a tierra para los siguientes casos:

- La elección del conductor de cobre No.2AWG, es idónea para equipos instalados en estructuras aéreas.
- Para cámaras de transformación se recomienda el uso de conductores de cobre superiores al 2/0 AWG.

2.16 GLOSARIO DE TÉRMINOS

A tierra: Conexión conductora, intencionada o accidental, entre un circuito o equipo eléctrico y el terreno natural o algún cuerpo conductor que sirva como tal.

Ablandamiento de las aguas: Eliminación de los iones Ca^{+2} , Mg^{+2} y Fe^{+2} que originan la dureza de las aguas.

Activo (conductor): Eléctricamente conectado a una fuente de potencial o eléctricamente cargado de manera que presente una diferencia de potencial con respecto a tierra.

Aislante: Material cuya conductividad eléctrica es nula o muy pequeña.

Barra de distribución de tierra: Barra rectangular de cobre a la que se conectan físicamente un cierto número de conductores de puesta a tierra.

Alambre: Conductor eléctrico metálico de un solo hilo y de sección circular.

Ambiente electromagnético: Es la totalidad de los fenómenos electromagnéticos existentes en un sitio dado.

Aterramiento: se denomina así a la derivación o conductor que desemboca a un sistema de puestas a tierra.

Base de la terminal: Dispositivo mecánico de metal fundido en la cual se sujeta la terminal aérea.

Bronce: Aleación de cobre y estaño. La proporción del estaño respecto al cobre varía entre el 10% y el 25%, proporción que aumenta la dureza del material. Esta aleación es muy maleable y resistente a la corrosión.

Cable aislado con material termoplástico: Cable con el cual la aislación de los conductores lo constituye un compuesto Termoplástico (Polietileno o PJC).

Cable: Conductor eléctrico flexible formado por varios alambres trenzados, el cable puede ser desnudo o aislado y de forma redonda o concéntrica.

Circuito en modo común: Es la totalidad de las corrientes de un lazo (o el circuito cerrado) por las corrientes de modo común. Incluyen el cable, el aparato y las partes cercanas del sistema de puesta a tierra.

Circuito en modo diferencial: Es la totalidad de las corrientes de un lazo (o el circuito cerrado) definidas para señales o potencia. Incluyen el cable y el aparato conectado en ambos extremos.

Cobre electrolítico: Cobre con un contenido mínimo de 99,9% de cobre más plata.

Compatibilidad electromagnética: Es la capacidad de un dispositivo, equipo o sistema para funcionar satisfactoriamente en su ambiente electromagnético sin introducir perturbaciones intolerables a alguna cosa en este ambiente.

Conductividad: Si la corriente de cortocircuito máxima en determinado sistema es de 10.000 A y si consideramos un tiempo seguro para el operario de 30 ciclos para que actúe el equipo de protección, tendremos de acuerdo a las tablas de los fabricantes un cable de 2 AWG, que nos permitiría conducir la corriente de cortocircuito sin fundirse

Conductor de bajada: Elemento conductor destinado a ofrecer una trayectoria a la corriente que va de la punta del pararrayos hacia un electrodo de tierra o al el sistema general de tierra.

Conductor de puesta a tierra de equipos: Es el conductor usado para conectar partes metálicas que no transportan corriente, como ductos, canalizaciones y gabinetes con la puesta a tierra o un conductor puesto a tierra o ambos, en el punto de la acometida o en la fuente de un sistema derivado independiente.

Conductor de puesta a tierra: Es un conductor usado para conectar equipos o circuitos puestos a tierra de un sistema de cableado con la puesta a tierra.

Conductor de puesta a tierra: Un conductor que se usa para conectar un equipo o el circuito puesto a tierra de un sistema de alambrado a uno o varios electrodos de puesta a tierra.

Conductor desnudo: Conductor que no tiene ningún tipo de cubierta o aislamiento eléctrico.

Electrización: aplicación de tensión entre dos partes del cuerpo.

Electrodo: Elemento en contacto íntimo (enterrado) con el suelo, que descarga a tierra las corrientes eléctricas nocivas y mantiene un potencial de tierra equilibrado en todos los conductos que estén conectados a él.

Equipotencial: se refiere a un solo potencial en toda una estructura e instalación eléctrica.

Interferencia electromagnética: Es la degradación en las características de un dispositivo, equipo o sistema, causadas por una perturbación electromagnética.

Nomenclatura: Los esquemas de conexión a tierra se nombran con dos letras: Primera letra: conexión del neutro del transformador: T (tierra), I (impedante). Segunda letra: conexión de las masas metálicas de la instalación: T (tierra), N (neutro). En los esquemas TN se añade una S (separado) o una C (conjunto) para definir si el conductor de neutro y el de protección son un solo conductor.

Perturbación electromagnética: Es un fenómeno electromagnético que puede degradar las características de desempeño de un dispositivo, equipo o sistema.

Puesta a Tierra: Grupo de elementos conductores equipotenciales, en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común, que distribuyen las corrientes eléctricas de falla en el suelo o en la masa. Comprende electrodos, conexiones y cables enterrados.

Red de tierras: Es el conjunto de conductores del sistema de puestas a tierras que conectan los aparatos, sistemas o instalaciones con el electrodo de tierra o entre electrodos de tierra.

Resistividad: Considerando un valor altamente seguro de 500 Ohm para la resistencia ofrecida por el cuerpo humano, medida desde la palma de una mano hasta la palma de la otra mano o del pie, y la corriente de 10 mA como la máxima posible de ser soportada por el hombre en un tiempo de 30 ciclos, tenemos como límite de caída de tensión en el lugar de trabajo 50 V. Por ejemplo: $0,1 \text{ A} \times 500 \text{ Ohm} = 50 \text{ V}$.

Sistema de puesta a tierra: Es el circuito eléctrico tridimensional conformado por la por la red de tierras.

Sobretensiones: son todos los valores que superan o están por encima de los valores normales de voltaje.

Susceptibilidad (electromagnética): Es la incapacidad de un dispositivo, equipo o sistema para funcionar sin degradación en presencia de una perturbación electromagnética.

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo bibliográfico, de campo y aplicada, por lo que el proceso de recopilación de información se estructuró tomando en consideración los tres tipos de investigación.

Para la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, se considera que el presente tema de investigación aportará de forma cuantiosa al campo universitario desde el punto de vista técnico de acuerdo a los diferentes fenómenos físicos presenciados a lo largo del tiempo; en esta ocasión se trata de diagnosticar el estado de los distintos sistemas de protección.

Sabemos también la necesidad de salvaguardar las instalaciones y equipos eléctricos así que a partir de este análisis se estudiará las fallencias y posibles correcciones en las distintas puestas a tierra de la Universidad Técnica del Norte, tratando de controlar dichos fenómenos y en base a la instrumentación adecuada encontrar la solución a este problema.

Necesariamente, toda investigación tiene que ser basada en una fuente bibliográfica, confiable y comprobada, características, problemas recomendaciones, detalles, así que fue necesario este gran aporte como lo es los libros, internet y demás conocimiento; por lo cual este proyecto también es del tipo bibliográfico.

3.1.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

La investigación se desarrolló con un diseño de tipo bibliográfica que permitió seguir un orden metodológico en la recopilación de información teórica y tecnológica obtenida de documentos, bibliografías y de páginas virtuales.

La investigación bibliográfica permitió estructurar el marco teórico sobre los sistemas de protección y las puestas a tierra, contenidos aplicados en el diseño de la

propuesta: sistema de puestas a tierra de la Universidad Técnica del Norte por medio de un telurómetro de cuatro electrodos, con la finalidad de salvaguardar las instalaciones y equipos eléctricos.

3.1.2 INVESTIGACIÓN DE CAMPO

La investigación siguió el proceso de un estudio de campo, porque se recabó información de fuentes directas en la Universidad Técnica del Norte, mediante observación directa.

3.1.3 INVESTIGACIÓN APLICADA

La recopilación de información se realizó mediante un proceso de investigación aplicada, mediante la utilización de medios y aplicación de normas y técnicas del sistema a tierra y los procedimientos en el manejo de un telurómetro de cuatro electrodos.

3.2 MÉTODOS

En la investigación se aplicaron los siguientes métodos: deductivo, analítico, sintético y experimental.

3.2.1 MÉTODO DEDUCTIVO

El método deductivo se aplicó en la etapa de recolección de la información teórica, obtenida de diferentes fuentes secundarias como documentos, revistas, textos y páginas de internet. Información con la que se estructuró el marco teórico utilizada como fundamento en el análisis realizado en el proceso de investigación con los datos obtenidos a través de las diferentes etapas de la recopilación de información.

3.2.2 MÉTODO INDUCTIVO

El método inductivo se aplicó para identificar los hechos y situaciones particulares, realizando comparaciones entre los hechos y aspectos observados con los fundamentos teóricos sobre sistemas a tierra y manejo de un telurómetro de cuatro electrodos, procedimientos que permitieron llegar a conclusiones generales sobre el problema investigado.

3.2.3 MÉTODO ANALÍTICO

El método analítico aplico en el estudio minucioso de la información bibliográfica, de campo y aplicada, datos obtenidos a través del proceso de investigación, con la finalidad de identificar características, causas y consecuencias de los hechos que se investigaron y que reflejan la situación del problema y de los requerimientos para la elaboración de la propuesta.

3.2.4 MÉTODO SINTÉTICO

El método sintético se aplicó para presentar esquemáticamente los diferentes resultados de la investigación y obtenidos mediante el estudio de los aportes de las diferentes fuentes de información.

El método sintético se concreta en la elaboración de resúmenes, esquemas, emisión de conclusiones y diseño del esquema de experimentación, además en la elaboración de la propuesta.

3.2.5 MÉTODO EXPERIMENTAL

El método experimental aplicado esencialmente en la propuesta, mediante prácticas de prueba y verificación, resultados que se registraron paulatinamente para realizar adecuaciones que permitan llegar a la optimización de funcionamiento de las instalaciones realizadas.

El proceso del método experimental se estructuró a través del diseño de investigación de campo y aplicada, como fase previa a la fase experimental propiamente dicha y además; para este tipo de investigación, se puede afirmar que se puede contar con los siguientes métodos prácticos:

- **Pruebas de funcionamiento:** se realizaran las correspondientes pruebas de Resistencia del Electrodo fabricado, en todas las mallas de tierra de la UTN, que estén al alcance de ser medidas y a las que se pueda tener acceso.
- **Optimización:** se presentará el correspondiente informe de cómo se podría hacer la mejora de la instalación, su costo y materiales.

- **Mediciones:** gracias a la implementación del telurómetro se facilitará la medición real de resistividad del suelo, que servirá como dato de partida para el diseño de las mallas de puesta a tierra necesarias en cada centro de transformación y tablero principal de las facultades de la Universidad Técnica del Norte.
- **Recolección de datos de campo y su correspondiente análisis:** luego de obtener los resultados arrojados en las mediciones pertinentes, se procederá a la introducción de datos y su análisis en el software CYME Ground para posteriores recomendaciones de mejora y características técnicas de la instalación.

En cuanto a los métodos teóricos y en concordancia con lo que se dijo que es una investigación bibliográfica, el método asociado será el analítico sintético.

Con las mediciones realizadas en las actuales instalaciones se procede a comparar con datos calculados, de los cuales encontramos las diferencias o variaciones de lo teórico con lo práctico, buscando determinar una solución efectiva.

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Las técnicas utilizadas en la investigación son las siguientes:

La técnica de observación de campo se aplicó en la investigación, con la finalidad de verificar la situación actual de las instalaciones de la Universidad Técnica del Norte, mediante observaciones directas, mediciones, análisis de información; técnica de investigación que permitió identificar los requerimientos a ser concretados mediante la elaboración de la propuesta.

La observación de campo se realizó en la fase de investigación diagnóstica, para recabar datos mediante procesos de investigación aplicada, posteriormente en la fase experimental para identificar los indicadores de las variables de experimentación con la finalidad de realizar las modificaciones necesarias para su funcionamiento correcto de un telurómetro de cuatro electrodos.

Como instrumentos de investigación se elaboraron fichas, para el registro de los datos obtenidos en las pruebas de experimentación, con la finalidad de mantener información clara, precisa y oportuna sobre los diferentes resultados identificados en los indicadores de variables y los efectos de los cambios o ajustes realizados en cada una de las pruebas.

- **Mediciones:** se realizarán las mediciones con el equipo indicado para esto como lo es el telurómetro, en un inicio se medirá la resistencia de los electrodos fabricados existentes, usando el método de 3 electrodos, obteniendo resultados en valores óhmicos.

Este mismo equipo mediante la ejecución del método de Wenner nos permitirá conocer la Resistividad del Suelo en el sitio que se necesita implementar las mallas, de éste proceso se obtendrán datos en valores ohmio – metro, con los cuales se harán los cálculos necesarios para definir las nuevas puestas a tierra necesarias.

- **Simulación:** se podrán simular el estado de cada uno de los sistemas de puestas a tierra.
- **Fotografías:** nos servirán como respaldo del trabajo investigativo y lo realizaremos en el acto pleno de las mediciones.
- **Videos:** de igual forma los videos servirán de evidencia del trabajo hecho.

CAPITULO IV

4 DESARROLLO

4.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se detallarán paso a paso los diferentes procesos que se realizan de forma normada y que constituyen la presente propuesta, es decir, se describen las condiciones en las que se encontraron cada una de las puestas a tierra de cada facultad y/o transformador, de igual manera se muestran los resultados de las diferentes mediciones y se indican posibles soluciones.

A continuación se desarrolla el proyecto de tesis.

4.2 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DE SUELOS EN EL CAMPUS UTN

En la universidad técnica del norte existen diferentes tipos de suelos sin muchas variaciones entre ellos en cuanto a su composición, inicialmente surge la necesidad de determinar la resistividad de los suelos que componen el campus, esto con el propósito de evaluar el estado resistivo del terreno y poder identificar las zonas más favorables para la ubicación de las puestas a tierra, para trabajar en este estudio se mostrarán los distintos lugares que se señalaran en un plano de la UTN, Ver ANEXO I Plano campus UTN.

El estudio de suelo del campus arroja que: en su mayoría lo conforma una estratificación básica y muy común; la humedad presente en la zona hace que estos sea suelos idóneos para una puesta a tierra, se encontraron también áreas de una superficie muy dura y de poca humedad, esto indica que de la variedad de suelos que existen en un área determinada, una muestra importante sería de gran utilidad en el campo eléctrico.

Dentro de las instalaciones del campus universitario hay muy buenos sitios para fabricar las puestas a tierra.

4.2.1 ZONIFICACIÓN DE LA UTN

Dentro del campus universitario existen diversas zonas y áreas disponibles en las que se puede realizar las mediciones de la resistividad, Realizando varias inspecciones se determinaron cinco locaciones las cuales no solo cumplen con los requerimientos normados sino que además logran un mejor acceso y condiciones de espacio para la ejecución de las labores de aterramiento, estos datos se proyectan en el plano destinado a las ubicaciones de zonas para aterramiento,

Ver ANEXO II Zonificación del campus UTN.

- Facultad FACA E áreas verdes
- Facultad FECYT cancha de futbol
- Piscina Semi-Olimpica
- Postgrado áreas verdes
- Facultad FICA áreas verdes

4.2.2 Equipo de medición

La medición se realizó con el equipo de medición marca DUOYI 4300B de cuatro terminales, el mismo que se importación para la ejecución del presente proyecto. Este equipo cuenta con certificaciones y estándares mismos que abalan su utilidad y lo certifican como confiable.

El teluometro DUOYI 4300 B permite obtener datos de resistividad de suelo ya calculado mediante formula interna del equipo en (Ωm), a la vez muestra en la pantalla el parámetro Rg (en letras pequeñas) que se entiende como la resistividad aparente de la medición, valor que normalmente se aplicaría para resolver la ecuación de resistividad promedio del terreno; este cálculo da un plus al valor técnico de este equipo ya que este valor de resistividad no es posible obtenerlo en otros equipos de similares característica.

En la actualidad existen equipos de características muy avanzadas que debido a su exactitud y precisión en la medición son de un costo muy elevado, por razones de estudio y de investigación se consideró a este teluometro como una herramienta útil en las mediciones a realizar; no obstante se realizaron comparaciones con equipos de gama alta como lo es el teluometro Fluke perteneciente a la empresa eléctrica local EMELNORTE, Estas mediciones las utilizamos como patrón de medición frente al teluometro Douyi, comprobando que el margen de error de este último es despreciable y los valores que arroja en las mediciones son aceptables.



FIGURA 28: Teluometro DUOYI 4300B DE 4 POLOS

Este equipo cuenta con cuatro electrodos metalicos (tropicalizados), cables #14 AWG THHN y su manual instructivo detallado en español, Ver ANEXO III Manual de instrucciones teluometro Duoyi 4300B.

Este equipo de medición será una herramienta imprescindible para la experimentación que realicen los estudiantes que operen el mismo en el aprendizaje de los sistemas de puesta a tierra.

4.2.3 RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

Las primeras mediciones realizadas son las de resistividad y se detallan en tablas los valores obtenidos en cada medición, las zonas donde se realizaron las mediciones se visualizan en el plano de la UTN, Ver ANEXO IV Zonas de medición, resistividad de suelos UTN.

4.2.3.1 FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y ECONÓMICAS (FACAE)

Las mediciones iniciales se realizaron en los días de agosto del año 2015, misma que se hizo con temperatura promedio de 24°C en época de verano, la propicia para realizar este tipo de medición por razones de diseño, bajo estas condiciones ambientales se sensa resequedad en el suelo, es decir se cuenta con el escenario más desfavorable para conductibilidad de corrientes de fuga.

Se puede observar en la Tabla 9 las mediciones en dos direcciones, norte – sur y este – oeste, con variaciones de distanciamiento de los electrodos de medición y a la vez con una variación de profundidad igual, todas estas distancias expresadas en metros.

Se observó un color de suelo negro pálido y un poco seco en un área plana de la jardinera frente al bar de la FACAE, área disponible en la que se obtuvo los siguientes resultados:

TABLA 9: Valores de resistividad FACAE

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE	
Datos del Sitio	Condiciones del Suelo
Fecha de medición: 25 de Agosto del 2015	Color del suelo: Negro
Ciudad: Ibarra	Tipo de Terreno: Plano
Ubicación: UTN AREAS VERDES FACAE	Estación: Verano
	Temperatura: 24°
Datos del equipo de medición	Accesorios de medición
Marca: DUOYI 4300B/4 polos	Electrodos: 4 estacas de metal tropicalizado
Frecuencia: 128 Hz	Tipo de cable: 14AWG-THHN

Sentido de la medición	Profundidad de exploración (m)	Separación de electrodos a (m)	Escala de medición (Ω)	Resistencia medida (Ω)	Resistividad (Ω -m)
N-S	0,75	1	20	13,64	85,70
	1,50	2	20	4,71	59,19
	2,25	3	20	2,96	55,79
	3,00	4	20	1,97	49,51
	3,75	5	20	1,72	54,04
	4,50	6	20	1,40	52,78
E-O	0,75	1	20	13,20	82,94
	1,50	2	20	5,10	64,09
	2,25	3	20	2,85	53,72
	3,00	4	20	2,63	66,10
	3,75	5	20	1,72	54,04
	4,50	6	20	1,36	51,27

Después de la recopilación de la información se realiza el procesamiento de datos, en la Tabla 10 se presentan los promedios obtenidos de las mediciones realizadas en la FACAE.

TABLA 10: Valores promedios resistividad vs profundidad

Valores promedios	
Profundidad de exploración (m)	Resistividad (Ω -m)
0,75	84,32
1,50	61,64
2,25	54,76
3,00	57,81
3,75	54,04
4,50	52,02

Con los puntos promedio de la Tabla 10 se muestra en la Figura 28 la curva resultante de resistividad vs la profundidad obtenida en la FACAE.



FIGURA 29: Curva de Valores promedios resistividad vs profundidad

Según los datos obtenidos en las mediciones y los resultados de la curva de valores promedios de resistividad vs profundidad, se determina que en esta área existe una estratificación de suelo de dos capas lo cual introduce una ligera variación en los datos, resultados con los cuales se llegó a determinar que se tiene una buena composición y conductibilidad.

En la Figura 29 se muestra la toma de datos y la medición de los valores de resistividad en la FACAE.

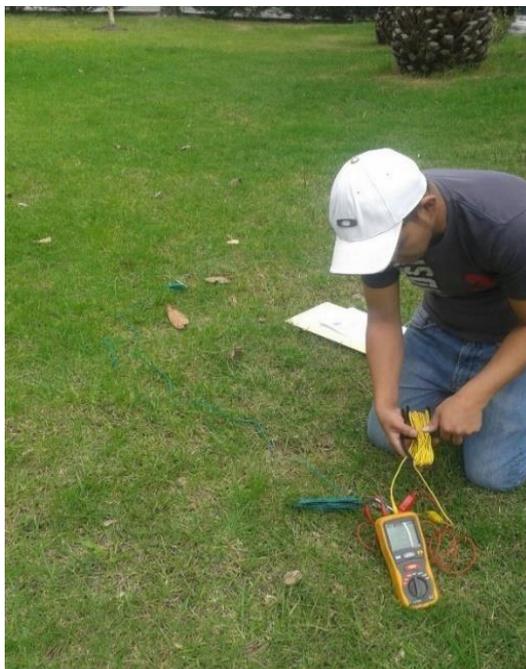


FIGURA 30: Mediciones realizadas en las áreas verdes de la FACAE

4.2.3.2 FECYT

Esta facultad no cuenta con muchos espacios o áreas verdes disponibles por lo que se realizaron las mediciones en la locación que ocupa actualmente la cancha sintética de fútbol. En agosto del año 2015, con temperatura ambiente promedio de 24°C en época de verano, se realizaron un grupo de mediciones cuyos resultados se pueden apreciar en la tabla siguiente, se realizaron mediciones en dos direcciones, norte – sur y este – oeste, con variaciones de distanciamiento en metros de los electrodos de medición y a la vez con una variación de profundidad.

Se observó un color de suelo muy pálido y ausencia de humedad en la superficie estudiada, se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 11: Valores de resistividad FECYT

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE					
Datos del Sitio			Condiciones del Suelo		
Fecha de medición: 25 de Agosto del 2015			Color del suelo: Negro		
Ciudad: Ibarra			Tipo de Terreno: Plano		
Ubicación: UTN CANCHAS DE FUTBOL FECYT			Estación: Verano		
			Temperatura: 24°		
Datos del equipo de medición			Accesorios de medición		
Marca: DUOYI 4300B/4 polos			Electrodos: 4 estacas de metal tropicalizado		
Frecuencia: 128 Hz			Tipo de cable: 14AWG-THHN		
Sentido de la medición	Profundidad de exploración (m)	Separación de lectrodos a (m)	Escala de medición (Ω)	Resistencia medida (Ω)	Resistividad (Ω-m)
N-S	0,75	1	20	6,54	41,09
	1,50	2	20	2,77	34,81
	2,25	3	20	2,63	49,57
	3,00	4	20	1,88	47,25
	3,75	5	20	1,52	47,75
	4,50	6	20	1,14	42,98
E-O	0,75	1	20	4,88	30,66
	1,50	2	20	4,10	51,52
	2,25	3	20	3,55	66,92
	3,00	4	20	2,83	71,13
	3,75	5	20	1,90	59,69
	4,50	6	20	1,30	49,01

En la Tabla 12 se muestran los valores promedios calculados de las mediciones de resistividad de suelos realizadas en la facultad FECYT, cabe recalcar que estos datos se muestran con el único objetivo de realizar la curva de resistividad misma que determinará los parámetros de diseño:

TABLA 12: Valores promedios resistividad vs profundidad

Valores promedios	
Profundidad de exploración (m)	Resistividad (Ω -m)
0,75	35,88
1,50	43,17
2,25	58,25
3,00	59,19
3,75	53,72
4,50	45,99

Con los puntos iterados de la tabla anterior se muestra en la Figura 31 la resultante de la curva de resistividad obtenida en la FECYT, claramente se distingue que existe una variación en sus valores.

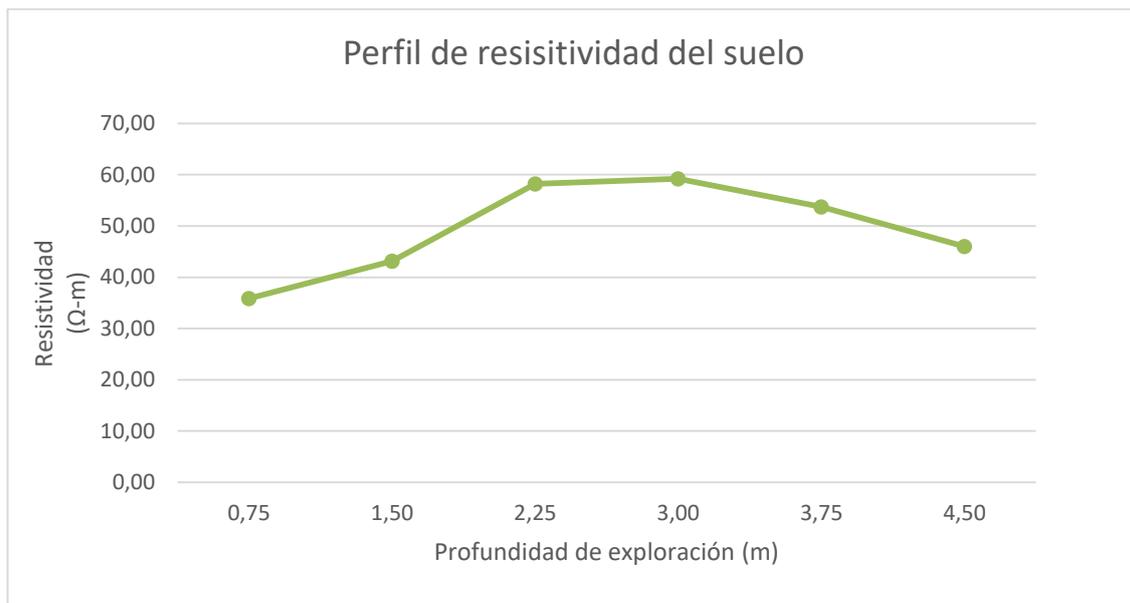


FIGURA 31: Curva de Valores promedios resistividad vs profundidad

Fuente (Autor, 2016)

Tras el análisis de la información sobre los valores promedios de resistividad vs profundidad y la curva de la gráfica anterior se verifica que el suelo presenta una estratificación de dos capas y una composición seca. Por tanto el terreno de esta zona muestreada tiene una conductibilidad poco favorable.

En la Figura 32 se muestra la toma de datos y la medición de los valores de resistividad en la FECYT.

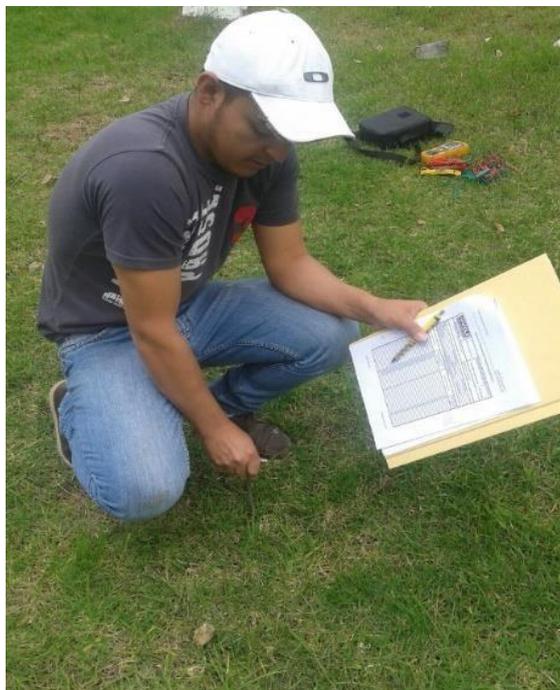


FIGURA 32: Mediciones realizadas en la cancha de futbol de la facultad FECYT

4.2.3.3 ÁREAS ALEDAÑAS AL EDIFICIO DE POSTGRADO

Esta medición se la hizo en las áreas verdes frente al edificio de postgrado en los días del mes de agosto, misma temporada que se tuvo un promedio de 24° de temperatura el día de la medición; el orden fue el mismo se tomaron las lecturas de las mediciones realizadas en los sentidos norte – sur y este – oeste, la distanciamiento de los electrodos fue la misma y en si todo el procedimiento.

En esta área se encuentran tres transformadores utilizados para energizar el edificio que alberga la Facultad de Ciencias Aplicadas (FICA) y El Centro Académico de Idiomas (CAI), mismo que se encuentra ubicado junto al mencionado centro de transformación, en este lugar se hallan conectados los chicotes de tierra a neutro corrido.

TABLA 13: Valores de resistividad POSTGRADO

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE					
Datos del Sitio			Condiciones del Suelo		
Fecha de medición: 25 de Agosto del 2015			Color del suelo: Negro		
Ciudad: Ibarra			Tipo de Terreno: Plano		
Ubicación: UTN AREAS VERDES POSGRADO			Estación: Verano		
			Temperatura: 24°		
Datos del equipo de medición			Accesorios de medición		
Marca: DUOYI 4300B/4 polos			Electrodos: 4 estacas de metal tropicalizado		
Frecuencia: 128 Hz			Tipo de cable: 14AWG-THHN		
Sentido de la medición	Profundidad de exploración (m)	Separación de electrodos a (m)	Escala de medición (Ω)	Resistencia medida (Ω)	Resistividad (Ω-m)
N-S	0,75	1	20	11,69	73,45
	1,50	2	20	9,5	119,38
	2,25	3	20	7,33	138,17
	3,00	4	20	5,98	150,29
	3,75	5	20	5,4	169,65
	4,50	6	20	4,90	184,73
E-O	0,75	1	20	14,82	93,12
	1,50	2	20	9,12	114,61
	2,25	3	20	7,21	135,91
	3,00	4	20	6,49	163,11
	3,75	5	20	5,73	180,01
	4,50	6	20	4,35	163,99

Los valores promedio de resistividad vs profundidad de la medición del edificio de POSTGRADO se detallan en la Tabla 14, estos valores se procesan y se calculan con el propósito de graficar la curva de resistividad como se muestra en la Figura 33.

TABLA 14: Valores promedios resistividad vs profundidad

Valores promedios	
Profundidad de exploración (m)	Resistividad (Ω -m)
0,75	83,28
1,50	116,99
2,25	137,04
3,00	156,70
3,75	174,83
4,50	174,36

La curva de resistividad del terreno de las áreas verdes del edificio de postgrado se obtiene a partir de la tabla 14. Al graficar estos valores obtenemos la Figura siguiente.

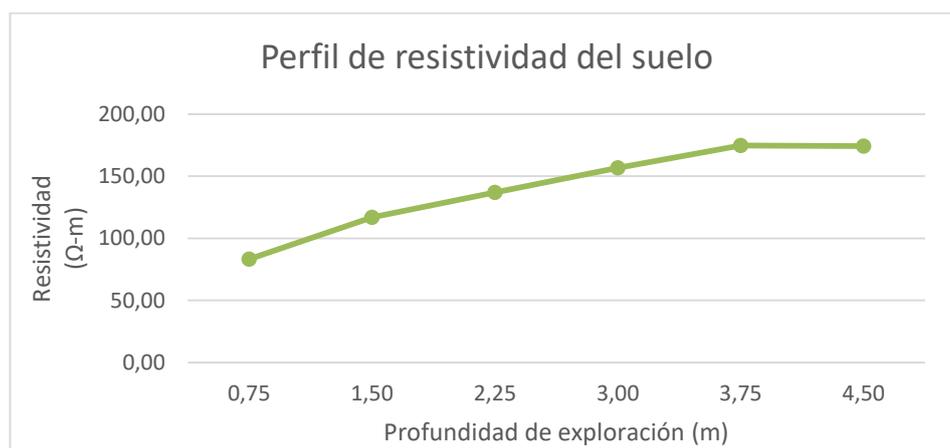


FIGURA 33: Curva de Valores promedios resistividad vs profundidad

Del estudio realizado en el edificio de Postgrado se concluye que esta es una de las áreas más críticas por sus niveles de conductividad, se esperó un terreno con mejores características, pero las mediciones se dieron de forma que como se puede observar en la curva la resistividad toma valores ascendentes logrando estabilizarse en casi los 180 (Ω m), se trata de un terreno de color café y aparentemente una textura húmeda en la primera capa, por los resultados obtenidos en la medición de la primera capa se asume que la segunda capa es de característica mucho más resistiva, si se fuese a instalar una malla en esta locación previamente se deberá preparar muy bien el suelo parar mejorar su conductividad.



FIGURA 34: Medición de resistividad postgrado

4.2.3.4 ÁREA POSTERIOR A LA PISCINA SEMI-OLIMPICA

Detrás de la piscina referida se encuentra un área disponible de condiciones aparentemente secas y un terreno duro, se realizaron las mediciones por el método de Wenner, en el mismo modo de las anteriores, separación de electrodos gradual con variaciones en incrementos de un metro y direcciones norte – sur y este – oeste, el día de la medición se presentaron escasas lluvias, sin embargo esta situación no afectó en la variación de las mediciones.

La tierra existente en esta zona es de características similares a las del edificio de postgrado. Se ensayó para la obtención de los resultados el estado verdadero del suelo.

En este caso se tomaron mediciones con el único propósito de completar y verificar la zonificación del área de la universidad y lograr la determinación del tipo de suelo con el que se contaba en la misma, de existir la posibilidad de diseñar una malla en este lugar se debería mejorar su calidad de conducción.

TABLA 15: Valores de resistividad PISCINA

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE						
Datos del Sitio			Condiciones del Suelo			
Fecha de medición: 10 de Septiembre del 2015			Color del suelo: Negro			
Ciudad: Ibarra			Tipo de Terreno: Plano			
Ubicación: UTN AREAS VERDES PISCINA SEMIOLIMPICA			Estación: Verano			
Temperatura: 24°						
Datos del equipo de medición			Accesorios de medición			
Marca: DUOYI 4300B/4 polos			Electrodos: 4 estacas de metal tropicalizado			
Frecuencia: 128 Hz			Tipo de cable: 14AWG-THHN			
Sentido de la medición	Profundidad de exploración (m)	Separación de electrodos (m)	Escala de medición (Ω)	Resistencia medida (Ω)	Resistividad (Ω-m)	
N-S	0,75	1	20	17,86	112,22	
	1,50	2	20	9,52	119,63	
	2,25	3	20	7,85	147,97	
	3,00	4	20	7,26	182,46	
	3,75	5	20	5,59	175,62	
	4,50	6	20	4,90	184,73	
E-O	0,75	1	20	16,24	102,04	
	1,50	2	20	12,25	153,94	
	2,25	3	20	7,39	139,30	
	3,00	4	20	6,69	168,14	
	3,75	5	20	5,93	186,30	
	4,50	6	20	4,66	175,68	

Los valores que se muestran se la Tabla 16 son los calculados en base a los datos obtenidos en las mediciones de resistividad de suelo del área trasera de la piscina semi- olimpica, mismos que servirán para determinar la curva de resistividad, y que se obtienen de un promedio resultante entre los valores norte – sur y este – oeste, como se necesita un valor únicamente se procede a este cálculo.

TABLA 16: Valores promedios resistividad vs profundidad:

Valores promedios	
Profundidad de exploración (m)	Resistividad (Ω -m)
0,75	107,13
1,50	136,79
2,25	143,63
3,00	175,30
3,75	180,96
4,50	180,20

En la Figura 35 se muestran la curva de resistividad del área de la piscina semi-olímpica.



FIGURA 35: Curva de Valores promedios resistividad vs profundidad

Fuente (Autor, 2016)



FIGURA 36: Medición de resistividad piscina

4.2.3.5 ÁREAS VERDES PARTE TRASERA FICA

En la parte trasera del edificio correspondiente a la FICA existe un área verde propicia para realizar esta medición, con el mismo procedimiento que en los anteriores lugares de medición se dispuso el método de Wenner de cuatro puntos. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

TABLA 17: Valores de resistividad FICA

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE	
Datos del Sitio	Condiciones del Suelo
Fecha de medición: 10 de Septiembre del 2015	Color del suelo: Negro
Ciudad: Ibarra	Tipo de Terreno: Plano
Ubicación: UTN AREAS VERDES PARTE TRASERA	Estacion: Verano
FICA	Temperatura: 24°
Datos del equipo de medición	Accesorios de medición
Marca: DUOYI 4300B/4	Electrodos: 4 estacas de metal tropicalizado polos
Frecuencia: 128 Hz	Tipo de cable: 14AWG-THHN

Sentido de la medición	Profundidad de exploración (m)	Separación de electrodos (m)	Escala de medición (Ω)	Resistencia medida (Ω)	Resistividad (Ω -m)
N-S	0,75	1	20	16,82	105,68
	1,50	2	20	11,09	139,36
	2,25	3	20	7,85	147,97
	3,00	4	20	6,24	156,83
	3,75	5	20	5,92	185,98
	4,50	6	20	5,23	197,17
E-O	0,75	1	20	15,88	99,78
	1,50	2	20	9,22	115,86
	2,25	3	20	7,44	140,24
	3,00	4	20	6,52	163,87
	3,75	5	20	5,78	181,58
	4,50	6	20	5,12	193,02

Los valores que se muestran a continuación son los calculados en base a los datos obtenidos en las mediciones de resistividad de suelo del área trasera del edificio de la facultad FICA, estos servirán para determinar la curva de resistividad, mismos que se obtienen de un promedio resultante entre los valores norte – sur y este – oeste, es necesario promediar los valores obtenidos para realizar la gráfica.

TABLA 18: Valores promedios resistividad vs profundidad

Valores promedios	
Profundidad de exploración (m)	Resistividad (Ω -m)
0,75	102,73
1,50	127,61
2,25	144,11
3,00	160,35
3,75	183,78
4,50	195,09

Con los puntos promedio de la tabla anterior se muestra en la Figura 36 la resultante de la curva de resistividad obtenida en la facultad FECYT, claramente se distingue que existe una variación en sus valores.

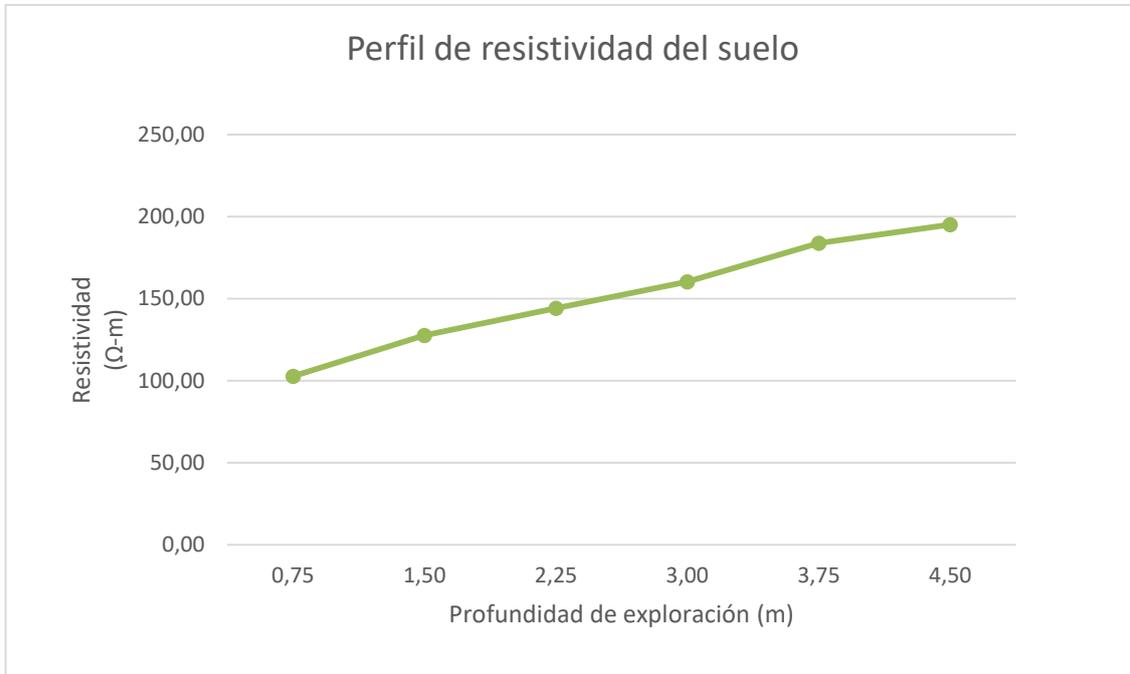


FIGURA 37: Curva de Valores promedio resistividad vs profundidad
Fuente (Autor, 2016)



FIGURA 38. Medición de resistividad FICA trasera
Fuente (Autor, 2016)

Fue necesario establecer dentro de la Universidad Técnica del Norte estas áreas donde se tiene un suelo de determinada resistividad, estos suelos son identificados por simple inspección en las áreas mencionadas por las mismas mediciones que antes se realizó. Esto permite tener varios valores de resistividad dentro del campus y de acuerdo con esto se puede decir que se tiene similar estratificación de suelos y por lo tanto un valor de resistividad promedio y en algunos casos mejorable dependiendo del requerimiento de la malla a tierra a instalar.

Se puede decir también que para futuros planes de construcción o ampliación del campus se tendrían estas mediciones en cuenta para realizar los diseños de construcción de mallas o puestas a tierra, Ver **ANEXO V** Reporte fotográfico mediciones de resistividad campus UTN.

4.3 MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE LAS PUESTAS A TIERRA.

Para medir las distintas mallas de puesta a tierra dentro de la universidad primeramente se identificó su ubicación, tiempo de construcción y estado, su funcionalidad o no. Los antecedentes indican que hace no más de un año previo a la construcción de los ascensores se realizaron las mallas de puesta a tierra para cada ascensor adicionales a las puestas a tierra existentes, se identificaron mallas o puestas a tierra que con los años han sido modificadas o mejoradas; otras que se encuentran en mal funcionamiento o deterioradas o sin el adecuado mantenimiento y por ultimo falta o ausencia de estas. En ningún caso se realizó la ejecución de planos as built para la identificación de las mismas.

4.3.1 UBICACIÓN DE LOS ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA DENTRO DE LA UTN

Las distintas mallas construidas se encuentran detalladas de forma gráfica en el plano del campus UTN, conjuntamente con imágenes de su construcción, misma que se realizaron hace no más de dos años por personal de mantenimiento eléctrico de la universidad, Ver **ANEXO VI** Ubicación mallas campus UTN y **ANEXO VII** Construcción de mallas campus UTN.

4.3.1.1 ÁREAS VERDES DE LA FECYT

La malla de esta facultad está ubicada en una de las jardineras del estacionamiento en la parte este de la edificación, se refiere al aterramiento número 1 en el **ANEXO XVII**.

- **Procedimiento.-**

Para la medición de la resistencia de las mallas de puesta a tierra se utilizó el método de caída de potencial, el más común para realizar este tipo de mediciones, no sin antes verificar los procedimientos de medición, es decir, para medir de resistencia de PAT se debe desconectar la malla desde el tablero de distribución o centro de cargas, ya que al no hacerlo se encuentra en equipotencialidad con la red esto no es favorable para la medición ya que nos arrojaría valores en la medición erróneos, al estar al mismo potencial y circulación de corrientes.

En la primera malla que se midió "FECYT", se encontró ciertas irregularidades, como ausencia de una unión básica como son los conectores, sin embargo se procedió a desconectar el empalme realizado para liberar la malla de la red, posteriormente se realizó la medición en sentido norte –sur a 30 metros de distancia solamente por cuestión de espacio.

Una malla reticulada conformada por seis varillas enterradas desde una profundidad de 0,5 m desde la superficie, y separadas 1.80 m entre ellas, además de esto una resistencia de electrodo fabricado de 4.65 Ω según la medición con el telurómetro.

- **Análisis.-**

La puesta a tierra en esta facultad se encuentra en muy buenas condiciones, con un valor de resistencia aceptable y dentro de los parámetros de seguridad al contar con una tierra húmeda, es un suelo muy conductible, el único inconveniente que se presenta en esta malla es su conexión al interior del edificio, solo cuenta con empalme manual, el cual debería ser reemplazado por un conector.

Ver **ANEXO VIII** Mediciones de resistencia de puesta a tierra FECYT.

4.3.1.2 ÁREAS VERDES DE LA FACAE

En esta facultad la malla de Puesta a Tierra se halla ubicada en la jardinera del pasillo norte de la edificación, frente al transformador que lo alimenta ubicado en la calle de salida de la universidad a la Av. 17 de Julio, y se refiere al aterramiento número 2 en el ANEXO XVII.

- **Procedimiento.-**

En la facultad “FACAE”, se encuentra una puesta a tierra compuesta de tres mallas en la jardinera trasera, y para realizar la medición se desconectó en el tablero principal de la barra de tierras y se pudo verificar que está en el mismo ducto de alimentación del transformador, el cual posee un neutro desnudo lo que representa un problema al momento de medir.

Sin embargo se realizó la medición obteniendo como ya antes se aclaró un resultado erróneo, para lo cual se desconectó una más de las mallas que la conforman midiendo las dos restantes, obteniendo el mismo resultado, por último se desconectó y se midió la malla restante y de igual manera no se obtuvo el resultado esperado.

La primera malla, más antigua es de forma triangular que en un inicio había servido al centro de cómputo y que por motivos de espacio se distanciaron sus varillas a apenas 1m entre ellas.

Luego viene la segunda malla reticulada conformada por seis (3x2) varillas tejidas entre si y enterradas desde una profundidad de 0,5m, separadas entre ellas a 1.80 m, por motivos de espacio. La tercera malla está conformada por cuatro varillas de igual forma reticulada y a 0,5 m del nivel y separadas entres si 1.80 m.

En conjunto conforman la malla de puesta a tierra pero en la medición se constató que el conducto por el cual estaba llegando al tablero también llevaba un neutro desnudo razón por la cual se obtuvo 0.25 Ω en su resistencia.

- **Análisis.-**

En esta malla se obtiene un valor erróneo dado la configuración y conexión de la misma hacia el tablero de distribución al interior de edificio, es necesario realizar una malla nuevamente en otra área de la facultad ingresando de forma independiente hacia ella. Ver ANEXO IX Mediciones de resistencia de puesta a tierra FACAE.

4.3.1.3 EDIFICIO CENTRAL

Esta medición se realizó en la parte trasera del edificio central, en el parqueadero sentido oeste, la numero 3 en el ANEXO XVII.

- **Procedimiento.-**

Malla en la que se procedió de la siguiente manera, se destapo la caja de revisión y se desconectó el chicote de la puesta a tierra desde el tablero central del edificio, por motivos de medición exacta y segura, además de destapar los adoquines en los cuales coincidía el electrodo de medición; de esta manera se realizó la medición y se obtuvo el valor de resistencia.

En la caja de revisión se encontró una conexión al tablero de control la cual se desconectó y realizó la medición en la que se obtuvo un valor de Resistencia de electrodo fabricado de 4.36Ω , con una configuración de malla en línea recta conformada por seis varillas a una profundidad de 0,5 m del nivel del suelo, ver ANEXO X Mediciones de resistencia de puesta a tierra Edificio Central.

- **Análisis.-**

La malla que se encuentra aquí descrita es sencilla y al contar con seis electrodos entrega una resistencia con un valor dentro de lo requerido, en términos de seguridad su medición presentó dificultad ya que se encuentra debajo del adoquinado, por lo que se debió levantar el mismo para clavar las picas de medición.

4.3.1.4 FICAYA

La ubicación de esta malla se encuentra al pie del actual ascensor en la parte trasera del edificio de esta facultad, en sentido oeste al mismo y se refiere al aterramiento número 4 en el ANEXO XVII.

- **Procedimiento.-**

En este sitio se pudo obtener con cierta facilidad el resultado ya que al estar la malla al pie del ascensor se procedió a destapar la caja de revisión, luego se desconectó de la malla el empalme existente que se encontró solamente entorchado, obteniendo un resultado correcto y dentro de los parámetros deseados, además se encontró la toma de la malla de tierra conectada al ascensor y a la alimentación principal.

Esta malla está conformada por seis varillas en línea recta, enterradas a 0,5 m del nivel y en donde la medición fue de 5.34 Ω , Ver ANEXO XI Mediciones de resistencia de puesta a tierra FICAYA.

- **Análisis.-**

La configuración de la malla es de forma lineal y el resultado de su medición es perfecto, como su requerimiento es para el ascensor presenta una resistencia optima gracias al suelo en la que está instalada, ahora, sería necesario en esta malla cambiar el método de conexión por un terminal de tipo talón o en su defecto una barra de conexión.

4.3.1.5 ÁREAS ALEDAÑAS AL EDIFICIO DE LA FICA

En el edificio de la FICA de igual manera se encontró al pie del ascensor una caja de revisión con la toma de la malla de tierra en su interior, misma que se encuentra ubicada en la parte oeste del edificio en el área verde trasera correspondiente a esta facultad. Su ubicación se refiere al aterramiento número 5 en el ANEXO XVII.

- **Procedimiento.-**

Para la medición de esta malla el procedimiento fue similar al anterior ya que presenta características constructivas similares, se destapó la caja de revisión, encontrando una unión de esta con el neutro de la alimentación del edificio y la tierra propia del ascensor, posteriormente se procedió a desconectar liberando la malla y colocando los electrodos de medición del telurómetro, lagartos y cables del mismo, se obtuvo como resultado que esta malla se conforma de ocho varillas en configuración reticulada 4x2, arrojando un resultado de resistencia de puesta a tierra de 5.26 Ω .

En esta caja de revisión se hallan dos mallas de las cuales solo se midió una por motivos técnicos la otra malla no se pudo desconectar, Ver ANEXO XII Mediciones e resistencia de puesta a tierra LABORATORIOS FICA.

- **Análisis.-**

La puesta a tierra de este sitio se halla conformada por dos mallas de las cuales una presentó los valores de medición indicados y la otra no se desconectó por razones técnicas, Se detectó la presencia de una corriente de fuga de neutro al momento de realizar la medición lo cual fue notificado al personal de mantenimiento de la facultad, para futuras mediciones dados los antecedentes se deben tomar precauciones al momento de desconectar la segunda malla.

4.3.1.6 CIENCIAS DE LA SALUD

En Ciencias de la Salud también al borde del ascensor se encontró la caja de revisión y su ubicación se refiere a los aterramientos número 6 y 7 en el ANEXO XVII.

- **Procedimiento.-**

En Ciencias de la Salud de igual manera se desconectó la malla liberándola de la alimentación del ascensor y edificio, luego por el espacio en el que se encuentra se procedió a levantar los adoquines; para realizar la medición de la toma de puesta a tierra se clavaron las picas de medición en los espacios definidos por el método de tres puntos utilizado en este caso.

Su medición fue de 1.75 Ω a 10 m y 1.13 Ω a 5 m, se halla configurada una malla de seis varillas en forma reticulada 3x2, Ver ANEXO XIII Mediciones de resistencia de puesta a tierra CIENCIAS DE LA SALUD.

En la parte trasera de Ciencias de la Salud se halla una segunda malla reticulada compuesta de seis varillas en configuración 3x2, su chicote para medición se encuentra dentro de la caja de revisión correspondiente y los valores arrojados en la medición fueron 2.65 Ω a una distancia de 10 m en el espaciamiento, Ver ANEXO XIV Mediciones de resistencia de puesta a tierra CIENCIAS DE LA SALUD 2.

- **Análisis.-**

Estas mallas cumplen con los valores requeridos en la instalación, la composición de su terreno es de carácter humedo franco y de características favorables en términos de conductibilidad del terreno, a pesar de la rigidez de la primera capa en este suelo se usaron componentes químicos en la construcción de estas mallas, mejorando las características del terreno.

4.3.1.7 EDIFICIO FICA PARTE TRASERA

Esta malla está en la parte trasera al edificio de la FICA en sentido oeste a esta edificación, la ubicación de esta malla se refiere al aterramiento número 7 en el ANEXO XVII

- **Procedimiento.-**

En esta malla se encontró una caja de revisión en la que se desconectó la tierra del neutro corrido, un data center y a la tierra del ascensor, a los cuales se hallaba conectada, esta se halla conformada de cuatro varillas, luego de colocar las picas de medición el equipo arrojó un resultado de 3.20 Ω en la medición sentido norte sur a una distancia de 10 m y 3.64 Ω a 5 m, mismo sentido, ver ANEXO XV Mediciones de resistencia de puesta a tierra FICA parte trasera.

- **Análisis.-**

El sitio no ofrece una tierra de características favorables en su capa superior, por lo tanto para su construcción se emplearon sustancias que mejoraron la conductividad del mismo, resultando así en una malla con valores aceptables, su medición se facilitó por el espacio del que se dispone para realizarlo.

4.3.1.8 CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

En las áreas verdes frente al edificio de postgrado se encuentran tres transformadores en los cuales existen dos mallas, una que es del transformador de 75 KVA cerca al edificio del Centro Académico de Idiomas CAI. Esta ubicación se refiere al aterramiento número 8 en el ANEXO XVII.

- **Procedimiento.-**

Esta malla cuenta con una configuración de 4 varillas en línea recta presentando una resistencia de 3.14Ω , y la segunda malla que está compuesta de 3 varillas de igual manera dispuestas en línea recta con valor de resistencia de 4.85Ω , ver ANEXO XVI Mediciones de resistencia de puesta a tierra estructura tipo "H", para su medición fue necesario desconectarla del tablero de distribución y realizar la medición de acuerdo al método empleado.

- **Análisis.-**

Las diferentes mediciones realizadas muestran que no existe variación significativa en los resultados que arroja en los sentidos y las distancias que implican medir la resistencia de una puesta a tierra y que sus valores están dentro de los parámetros normales de resistencia de puesta a tierra, Ver ANEXO XVII Plano UTN mediciones de resistencia de los diferentes electrodos del campus universitario.

Todos los procedimientos son similares en las siguientes mallas de la facultad "FICA" y del "CAI" a diferencia de que estas están en campo abierto y de igual forma quedaron conectados al finalizar cada medición.

4.3.2 RESULTADO DE LAS MEDICIONES

TABLA 19: Tabla de resistencias de puesta a tierra

Fecha	Ubicación o Facultad	# de varillas	Resistencia (Ω)
03/06/2016	FECYT	6	4.65
03/06/2016	FACAE	10	0.25
03/06/2016	Edificio Central	6	4.36
06/06/2016	FICAYA	6	1.34
06/06/2016	FICA	8	5.26
10/06/2016	Ciencias de la Salud	6	1.75
10/06/2016	Ciencias de la Salud	6	2.65
10/06/2016	Transformador CAI	4	3.64
10/06/2016	FICA parte trasera	4	4.85

Los resultados se obtuvieron de las prácticas realizadas por personal encargado de mantenimiento eléctrico de la universidad y con la ayuda de estudiantes practicantes. Se realizaron las distintas instalaciones de puesta a tierra, en su mayoría ejecutadas para los ascensores, cuya construcción data de dos años atrás y además se hizo la malla de un transformador de 75 KVA ubicado en el área verde junto a los laboratorios de la FICA.

Se puede claramente ver que estas son mallas que entregan valores promedios estándar que ofrecen garantías en terminos de seguridad personal de acuerdo a los valores obtenidos, y se asegura que serían mejorables en el sentido de diseño desde el punto de vista técnico y de ingeniería, estos valores están en un rango adecuado de acuerdo a la construcción de las distintas mallas por la cantidad de varillas instaladas y la composición propia del terreno que se califica como un húmedo franco, es decir que se compone de elementos de distintos tipos de suelo.

En el caso específico de la malla de la FACAE se encontró la necesidad del rediseño e implementación de una nueva malla, debido a que la actual según opinión de expertos consultados no cumple con los estándares para estas edificaciones. De tal forma que se plantea el siguiente diseño.

4.4 CÁLCULO DE LA MALLA DE TIERRA REQUERIDA PARA LA FACULTAD FACAE

Debido a los constantes problemas suscitados en esta facultad y en base al presente estudio se procedió a realizar la ingeniería de la malla de tierra, en las áreas verdes junto a su edificio; se requiere el diseño de una puesta a tierra técnica y con parámetros de ingeniería, se realiza este diseño simulado con el único objetivo de mostrar las ventajas de utilización de un software aplicado para diseño de puestas a tierra, que en la actualidad ofrece las facilidades necesarias y permite optimizar los recursos en la construcción de mallas a tierra.

Para calcular la malla de esta facultad se determinaron los valores correspondientes, estos se obtuvieron de cálculos de ecuaciones e información obtenida de la empresa eléctrica local, parámetros que se detallan en el siguiente tópico.

4.5 PARÁMETROS DE DISEÑO DE LAS MALLAS

Se ha procedido a diseñar la malla de puesta a tierra con el principal objetivo de dar seguridad a la instalación, para esto se consideró como el peor defecto de falla el cortocircuito que se produciría entre las tres fases del transformador, de forma unísona.

Para realizar este diseño se utilizó un software de simulación virtual que califica como una herramienta útil en el diseño de las puestas a tierra aportando con su tecnología a la facilidad de este tipo de trabajos de construcción; mismo que determina modelos de suelo a partir de los datos ingresados y en los cuales se plantea un diseño de construcción de las varillas a criterio del diseñador y se parametriza con los datos de cálculo de las ecuaciones utilizadas, a continuación se detallan cada uno de los pasos a seguir para el diseño de esta malla de puesta a tierra.

Procedimiento:

El primer paso, si se cuenta con el software es crear un nuevo documento e ingresar los datos de resistividad obtenidos de la zona remota o suelo en mención, para este caso datos que se detallan en la siguiente tabla:

TABLA 20: cálculo del valor de resistividad

CALCULO DEL VALOR DE RESISTIVIDAD					
Lugar: Facultad FACAE “espacios verdes”					
Método de medición: WENNER					
Separación de electrodos	Profundidad de exploración	Medición A	Medición B	Medición C	Promedio (Ω -m)
1m	0.75	85.70	82.94	80.42	83.02
2m	1.50	59.19	64.09	73.26	65.51
3m	2.25	55.79	53.72	56.73	55.41
4m	3.00	49.51	66.10	51.27	55.62
5m	3.75	54.04	54.04	52.77	53.61
6m	4.50	52.78	51.27	43.35	49.13

Estos datos son necesarios y listos para introducir en el software, sin embargo según la teoría existen métodos que mediante cálculo matemático se puede obtener a partir de los mismos datos, y es el caso de la Metodología **Box-Cox**, mencionado anteriormente como un proceso de tabulación estadística y que permite obtener un valor promedio global del tipo de suelo medido, y que de cuyo cálculo se obtiene un solo valor de resistividad dentro de un margen del 70% de probabilidad de estar muy próximo al de un valor real.

Para aplicar este método se requieren los mismos datos obtenidos en campo y se tabulan como se detalló en el capítulo II, a continuación se muestran los resultados:

TABLA 21: Metodología Box-Cox

Cálculo del valor de resistividad					
Lugar: Facultad FACA E “espacios verdes”					
Método de Medición: WENNER					
Metodología utilizada para estimación del valor de la resistividad: Transformación Box-Cox					
Separación electrodos	Medición A	Medición B	Promedio	LN (Xi)	(Xi-X)^2
1m	85.70	82.94	84.32	4.4346	0.1168
2m	59.19	64.09	61.64	4.1213	0.0008
3m	55.79	53.72	54.75	4.0027	0.0081
4m	49.51	66.10	57.80	4.0569	0.0012
5m	54.04	54.04	54.04	3.9897	0.0106
6m	52.78	51.27	52.02	3.9516	0.0199
Valor promedio				4.0928	0.02623
Desviación estándar					0.16196
Distribución Normal estándar invertida (70%)					0.524400513
La resistividad (con probabilidad del 70% de no ser superada)					119.004 Ω-m

Este valor obtenido es útil para un cálculo manual, es decir un diseño comparativo con las curvas patrón de suelos por el método de las gráficas de Sundé, y que se utiliza para aplicar en la fórmula de Schwarz, ecuación 7 simplificada planteada por Sverak se define así:

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

Donde:

L_t: Longitud total de conductores enterrados en m.

ρ: Resistividad del terreno Ω-m

A: Área ocupada por la malla de tierra m².

H: Profundidad de la malla en m.

Lo que por consecuencia, se reemplaza con los datos reales y resulta de la siguiente manera:

$$R_g = 119 \left[\frac{1}{23m} + \frac{1}{20(21m^2)} \left(1 + \frac{1}{1 + 2\sqrt{\frac{20}{(21m^2)}}} \right) \right]$$

$R_g = 5.53 \Omega$

Estos son cálculos simplificados que se utilizan de una manera manual para el diseño de las mallas de puestas a tierra, en este caso se utilizó para comparar con el valor que resulta del diseño con software.

Aplicación del software:

Al utilizar un software como éste se está optimizando los recursos y haciendo más rápido el proceso de diseño, que con el paso del tiempo representa una eficaz herramienta de trabajo.

Ahora en la utilización del programa se darán a conocer detalles como cuadros de visualización y ventanas, donde se ingresan los valores obtenidos de la siguiente manera: en la primera ventana existe un cuadro de color verde en la parte inferior izquierda, donde se ingresan los datos de resistividad, profundidad de exploración, activación y pestañas de iguales características en las que se introducen datos como: longitudes de la malla, número y disposición de los electrodos, barras, conductores y demás parámetros para la simulación.

Se puede observar en la Figura 39 que se grafican los puntos de la curva de resistividad.

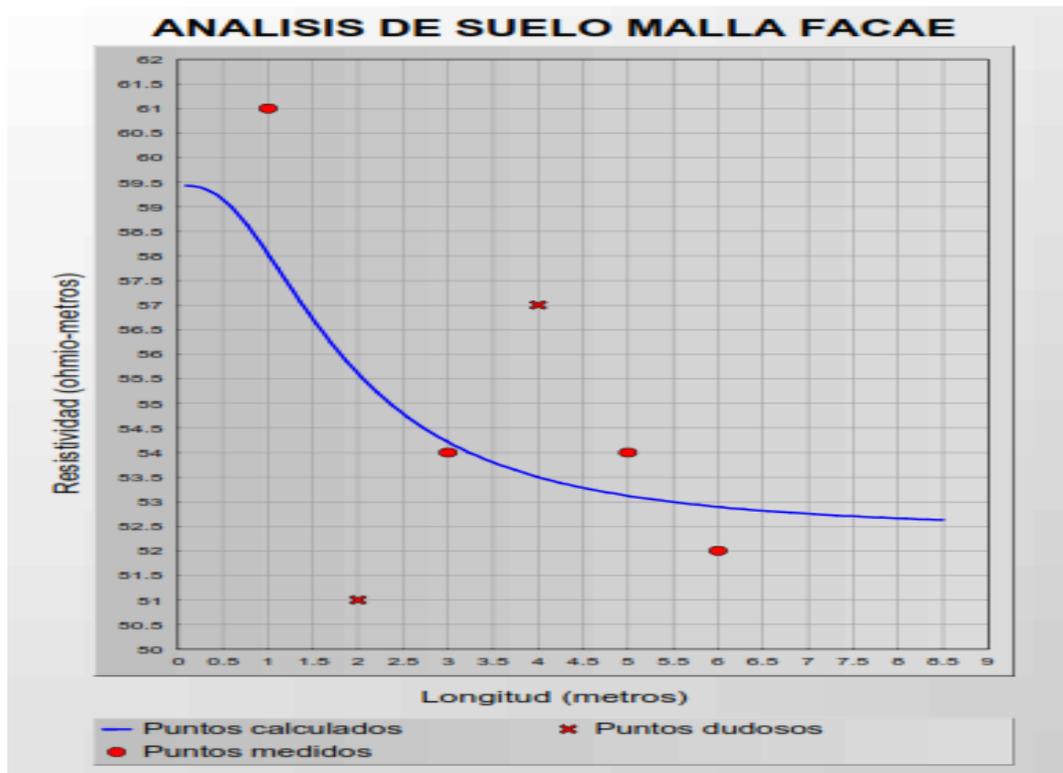


FIGURA 39: Ingreso de valores al software

Fuente (Autor, 2016)

En la figura 40 se muestran datos de longitudes de la malla y su disposición en un plano 3D, estos se obtiene en la parte superior izquierda donde se despliega una pestaña de selección del análisis de la malla.

Se propone una malla de seis electrodos en una configuración reticulada 3x2, es decir 3 varillas de largo por 2 varillas de ancho unidas entre sí con cable desnudo duro 2 AWG y de dimensiones propuestas por experiencia y afinidad de 7 x 3 m (largo x ancho); las varillas son las típicas que se encuentran en el mercado, copperwel de dimensiones: 1.80 m de altura y 1/2 pulgada de grosor.

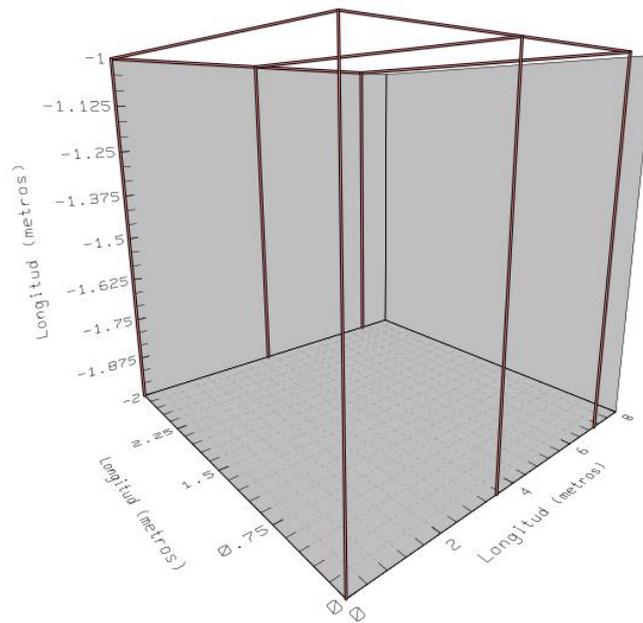


FIGURA 40: Ingreso de valores al software

Se requieren datos técnicos de la red y datos de las placas características del transformador, con los que se calculó la corriente de cortocircuito en el lado de baja tensión individualmente, y en conjunto dado el peor de los casos; dichos cálculos aplicados con las ecuaciones de corto circuito de transformadores especificada en la Ecuación 11 de la siguiente manera:

Reemplazando se tiene:

$$I_{cc} = \frac{100 * 75}{\sqrt{3} * 240 * 4}$$

La **I_{ccS}** del secundario del transformador de 75KVA es:

$$I_{ccS} = 4.51 \text{ KA}$$

Este dato se ingresa en el programa como parámetro de diseño en el recuadro verde parte inferior izquierda de la imagen como se puede ver en la siguiente gráfica con la parte de diseño asistido por el software:

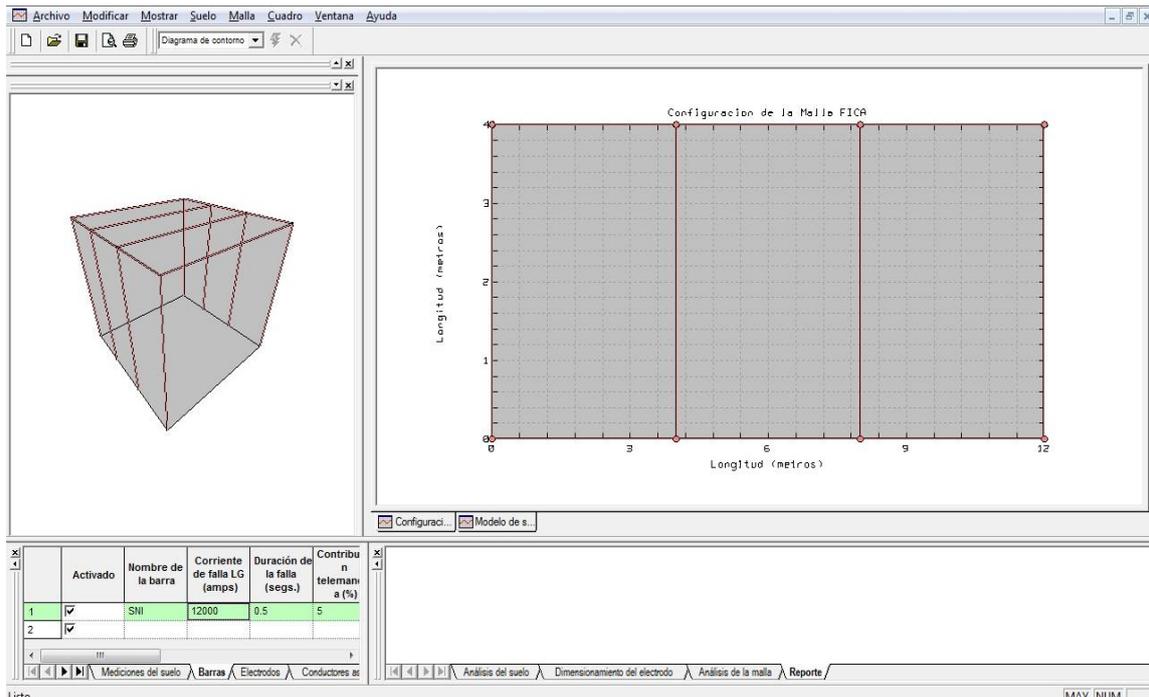


FIGURA 41: Ingreso de valores al software

Al ejecutar el programa se obtienen una serie de informes de parte del mismo explicando las distintas características con las que cuenta el diseño resultante, a continuación muestra el análisis del diseño con el cual se comprueba que se obtienen evidentes mejoras en comparación con el diseño realizado en base a cálculos sin software.

Reporte de análisis de la malla		Wednesday, July 13, 2016, 14:36:51
Nombre de la subestación	UTN MALLAS 1	
Proyecto	UTN MALLAS 1	
Estudio	MALLA FACAE	
Parámetros		
Spec. Z paralelo equivalente	Z infinito	
Frecuencia nominal	60 hz	
Nombre de la barra	EMELNORTE	
Corriente de falla LG	4510 amps	
Contribución a distancia	10 %	
Espesor de la capa superior	1 metros	
Resistividad de la capa superior	59.43 ohm-m	
Resistividad de la capa inferior	52.35 ohm-m	
Resultados de salida		
Elevación del potencial de tierra	1627.13 voltios	
Resistencia de tierra calculada	3.51701 ohmios	
Impedancia equivalente	3.51577 ohmios	

FIGURA 42: Análisis malla FACAE

La imagen muestra claramente los parámetros con los cuales se diseñó la malla, pero los resultados están en la zona marcada dentro del recuadro, aquí se visualiza el valor de la resistencia de la malla que arroja el software, y en efecto el valor de resistencia de la malla es más bajo que el valor obtenido con cálculos

Resistencia de SPAT con software: 3.51 ohmios

Resistencia de SPAT con ecuación Schwarz: 5.53 ohmios

Se muestran mediante simulación las líneas de dispersión del voltaje que ocurriría el momento de una descarga a tierra.

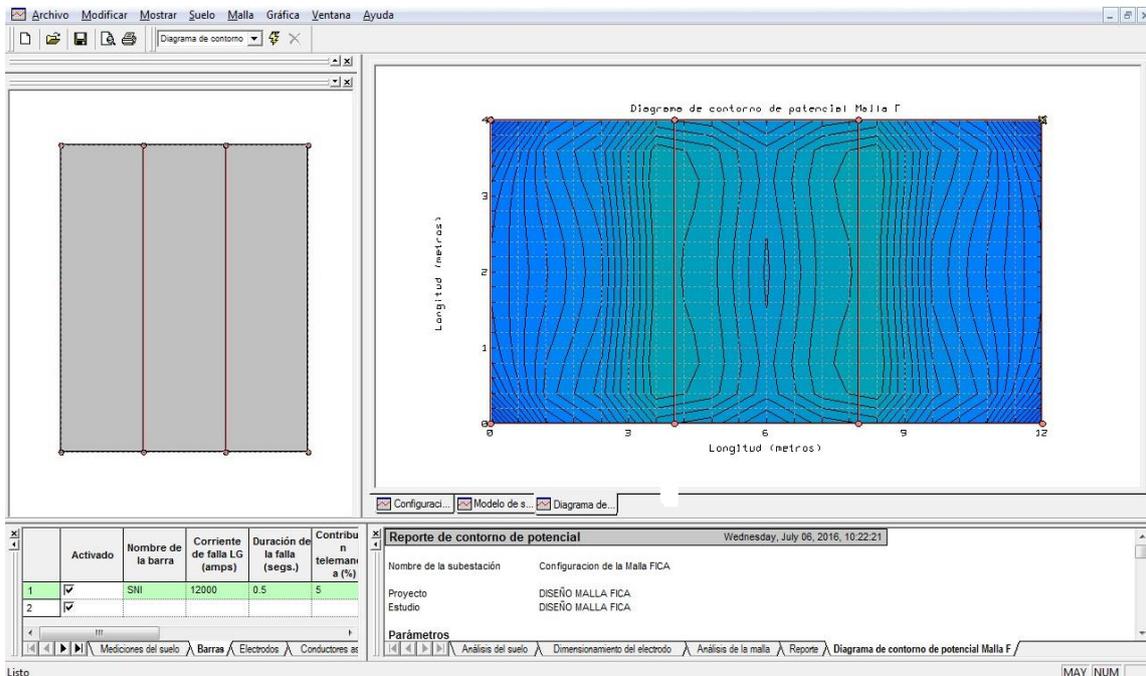


FIGURA 43: Líneas de dispersión de voltaje

Fuente (Autor, 2016)

Se puede seleccionar la vista en 3D de manera que la figura anterior se muestre de la siguiente forma, añadiéndose la escala de valores en voltajes de paso y contacto, refiriendo los colores de la parte derecha como los más riesgosos.

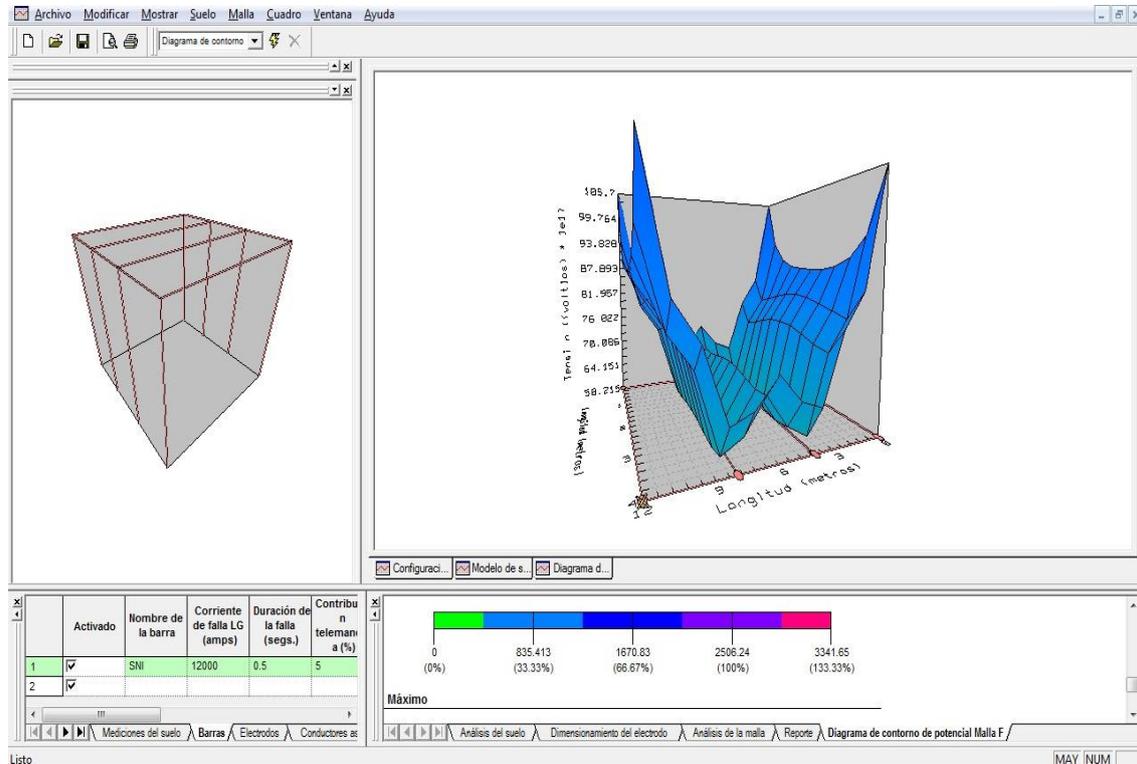


FIGURA 44: Líneas de dispersión de voltaje 3D

Fuente: (Autor, 2016)

Se determina que si la gráfica es de color azul los voltajes de paso y contacto se encuentren dentro de los valores normales y permitidos, en la siguiente grafica se detallan más simplificadaamente estas condiciones de diseño, en la que se explica que: las líneas punteadas son los valores máximos permitidos.

En este caso la línea roja es el valor máximo de potencial de superficie, el azul es el valor máximo del potencial de contacto y el verde es el valor máximo de potencial de paso; por el contrario las líneas continuas son los valores obtenidos por la malla diseñada.

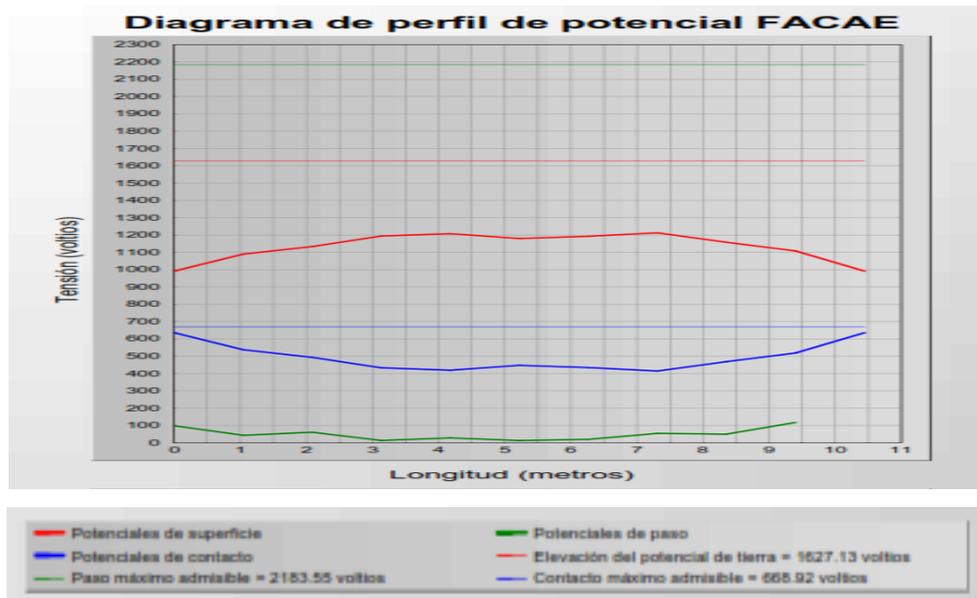


FIGURA 45: Líneas de potencial

Fuente (Autor, 2016)

Revisando los diagramas y reportes que nos da el programa se puede decir que el diseño propuesto cumple con las especificaciones técnicas y requeridas para brindar la seguridad del caso, es un diseño satisfactorio y sin presentar un peligro en los voltajes de paso, contacto y de superficie que se encuentran muy por debajo de los límites establecidos según se muestra en la gráfica.

4.6 BANCO DE PRUEBAS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR LA RESISTIVIDAD DEL SUELO

Este banco de pruebas, es un aporte técnico experimental que de forma didáctica servirá para la enseñanza de los estudiantes de la Ingeniería en Mantenimiento

Eléctrico, el cual está diseñado a escala, pro que ofrece la misma experiencia de un análisis real de suelos.

Para el diseño de este banco se necesitó únicamente un armario metálico, cajones de madera con vidrio para visualizar, diferentes tipos de tierra, medidores de voltaje y de amperaje análogos, una fuente de voltaje AC, cables # 14 THHN, conectores tipo lagarto, electrodos de metal, Ver ANEXO XX Dimensiones banco de pruebas y diseño.

4.7 PRÁCTICAS DE LABORATORIO A EJECUTAR EN EL BANCO DE PRUEBAS

El banco de pruebas consiste en un conjunto de probetas con un tipos de suelo diferente en cada una y una probeta especial que contiene distintas clases terreno, estas probetas servirán para el análisis de resistividad de suelos y en definitiva la comparación con el comportamiento de un suelo o estrato real.

En este banco de pruebas además se puede estudiar de manera más detallada y explicita el método de Frank Wenner, el mismo que se usa para realizar las mediciones de resistividad de suelos, ya que en este banco se dispondrán electrodos que simulen los de medición, se entenderá el efecto que produce una inyección de corriente en los electrodos de los extremos y la medición de los electrodos interiores; todo este proceso se implementara de forma ordenada y de tal forma que los estudiantes satisfagan sus inquietudes, ya que conjuntamente con la banco de pruebas se añaden prácticas que los estudiantes de la carrera tendrán que desarrollar y entender el procedimiento con el cual se realiza dicha medición de resistividad y resistencia de una puesta a tierra.

PRÁCTICA1: MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD MEDIANTE MUESTRAS DE SUELO

Mostrará al estudiante el contenido y el desarrollo de la medición de la resistividad de suelos paso a paso, equipo a utilizar, marco teórico, conclusiones y recomendaciones.

PRÁCTICA 2: MEDICIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Mostrará al estudiante el contenido y el desarrollo de la medición de la resistencia de puesta a tierra paso a paso, equipo a utilizar, marco teórico, conclusiones y recomendaciones.

En el ANEXO XXI Practicas banco de pruebas, se muestra las prácticas que el estudiante podrá realizar con la ayuda del docente en el banco de pruebas y telurometro.

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El estudio del arte demuestra que los métodos empleados tanto para el diseño y la construcción de puestas a tierra no varían sino que la introducción de nuevas tecnologías y cálculos estadísticos hace más confiable los resultados arrojados.
- Mediante las mediciones realizadas se determinó que el suelo del campus universitario es en una gran mayoría de características muy favorables, es decir que su terreno es rico en sales minerales y humedad permanente que contribuyen a una buena conductibilidad.
- De acuerdo a la investigación realizada se concluye que los sistemas de puesta a tierra dentro del campus universitario presentan defectos de conexión pese a que su instalación es reciente.
- Según los datos obtenidos en las mediciones de las puestas a tierra de la universidad se puede afirmar que: las mallas pueden variar su valor de resistencia de acuerdo a su configuración, número de varillas instaladas y su longitud de contorno, además que su vida útil depende de la corrosión y mantenimientos periódicos.
- Con la metodología de Box-Cox se puede obtener un único valor de resistividad y con el diseño de una malla a tierra en software se concluye que las herramientas que presta este programa son de gran utilidad y facilidad, entregando mejores resultados y optimizando los recursos.
- Al implementar un banco de pruebas en el laboratorio de la facultad se concluye que los estudiantes aprenderán de manera más detallada, específica y practica el estudio de los suelos, así como la correcta utilización del teluometro.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar mejoras en las actuales puestas a tierra tales como: sustituir el tipo de conexión, por el de suelda exotérmica que presenta un contacto sólido y definitivo entre el cable conductor y la malla o algún método similar.
- Se deben realizar mediciones de resistividad de suelos con el teluometro mediante el método de Wenner antes de construir una nueva malla, esto con la finalidad de conocer el lugar más adecuado para su ubicación.
- Para realizar futuras mediciones de resistencia de una puesta a tierra se deberá desconectar la tierra del neutro corrido por motivo de circulación de corrientes y alteración en los valores de las mediciones.
- Es necesario realizar el mantenimiento periódico de las mallas de puesta a tierra respetando el programa existente, por motivos de corrosión y con el objetivo de garantizar su normal funcionamiento y seguridad de las personas, puede aplicarse algún método predictivo, mediciones, inspección visual y correcciones en las mallas o puesta a tierra.
- Se recomienda que antes de utilizar el telurómetro en el laboratorio de la carrera se apliquen las instrucciones de su manual para optimizar su uso aplicándolo a las clases de una manera práctica y segura.

5.3 BIBLIOGRAFÍA

- APS. (2015). Exotérmicas Soldaduras. Obtenido de <https://apspanama.wordpress.com/telecomunicaciones/soldaduras-exotermicas/>
- Asea Brown, B. (2006). Telurohmetro manual de instrucciones, para controles eléctricos. México: McGraw Hill.
- Bethel, N. P. (2011). Análisis por zonas de falla. (P. Corporation, Editor) Recuperado el 05 de marzo de 2016, de http://www.pdma.com/pdfs/Articles/Analisis_de_Zonas_de_Falla.pdf
- Cabareda L. (2016). .: Luis Cabareda - Innovación:. Obtenido de <http://luiscabareda.com/innovacion3.html>
- Chauvin, A. (2012). Guía de la medición de aislamiento. (C. A. Group, Productor) Recuperado el 05 de marzo de 2016, de http://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/cat_guia_de_medicion_de_aislamie nto.pdf
- CYME. (2016). Power Engineering Software. Obtenido de www.cyme.com/
- García Márquez, R. (2009). La Puesta a Tierra de Instalaciones Eléctricas. México: Alfaomega.
- Gómez, R. (2012). Mediciones de Resistividad para Diseño. Recuperado el 20 de febrero de 2016, de <http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe70.html>
- Guerrero Castro, O. (marzo de 2010). Prevención de las fallas de los motores trifásicos de inducción mediante una adecuada selección. 23(1), 78-93. Recuperado el 06 de marzo de 2016, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835860.pdf>
- IHMC. (2016). Sistema de Puesta a Tierra. Obtenido de <http://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1LKP9QC9J-NTW78V-1JV3/STP.cmap>

Jiménez Castellano, E. (2012). Manual y diseño de puesta a tierra. Recuperado el 20 de febrero de 2016, de <http://es.scribd.com/doc/104729449/MANUAL-DISENO-PUESTA-A-TIERRA-1>

Morales O., N. (2010). Sistema de puestas a tierra. (Universidad de Chile, Productor) Recuperado el 27 de febrero de 2016, de <http://www.analfatecnicos.net/archivos/09.PuestaATierra.pdf>

Morales Osorio, N. (10 de 2011). Sistemas de puesta a tierra. (Universidad de Chile) Recuperado el 20 de marzo de 2016, de procobre.org/es/wp-content/plugins/download/download.php?id=216

PENTAIR. (2016). INGENIERÍA ELÉCTRICA Y DE FIJACIÓN DE SOLUCIONES. Obtenido de <http://www.erico.com/default.asp>

PRONERGY. (2015). Puesta a Tierra. Obtenido de <http://www.actiweb.es/pronergy/pagina4.html>

PROMELSA. (2015). Distribuidor é Importador de Materiales Eléctricos Iluminación. Obtenido de <http://www.promelsa.com.pe/>

Rojas, J. (2010). Manual de puesta a tierra. Recuperado el 20 de marzo de 2016, de <http://www.slideshare.net/masgsg2013/manual-depuestaatierra>

Slideshare. (2016). Módulo 4 Mediciones de Resistencia. Obtenido de <http://es.slideshare.net/jcarloesse/modulo-4-mediciones-de-resistencia>

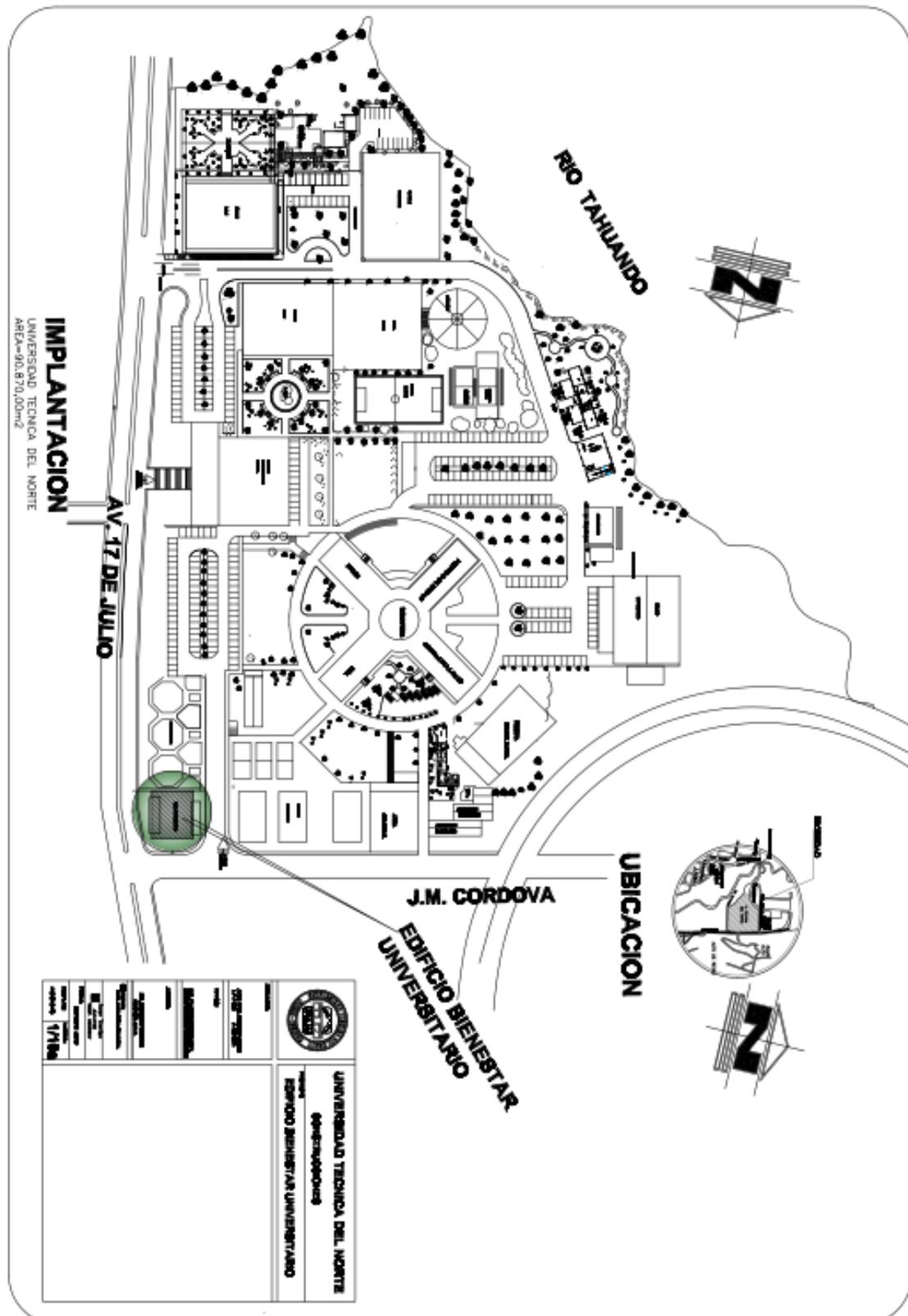
SUMIDEELEC. (2016). eléctrico material. Obtenido de <http://www.sumidelec.com/>
Sotelo Lagos, J. R. (2011). Dimensionamiento de subestaciones eléctricas de media

Tensión aplicativa en java. Cali, Colombia: Arcano ediciones. UNELSAC. (2015). Obtenido de www.unelsac.com

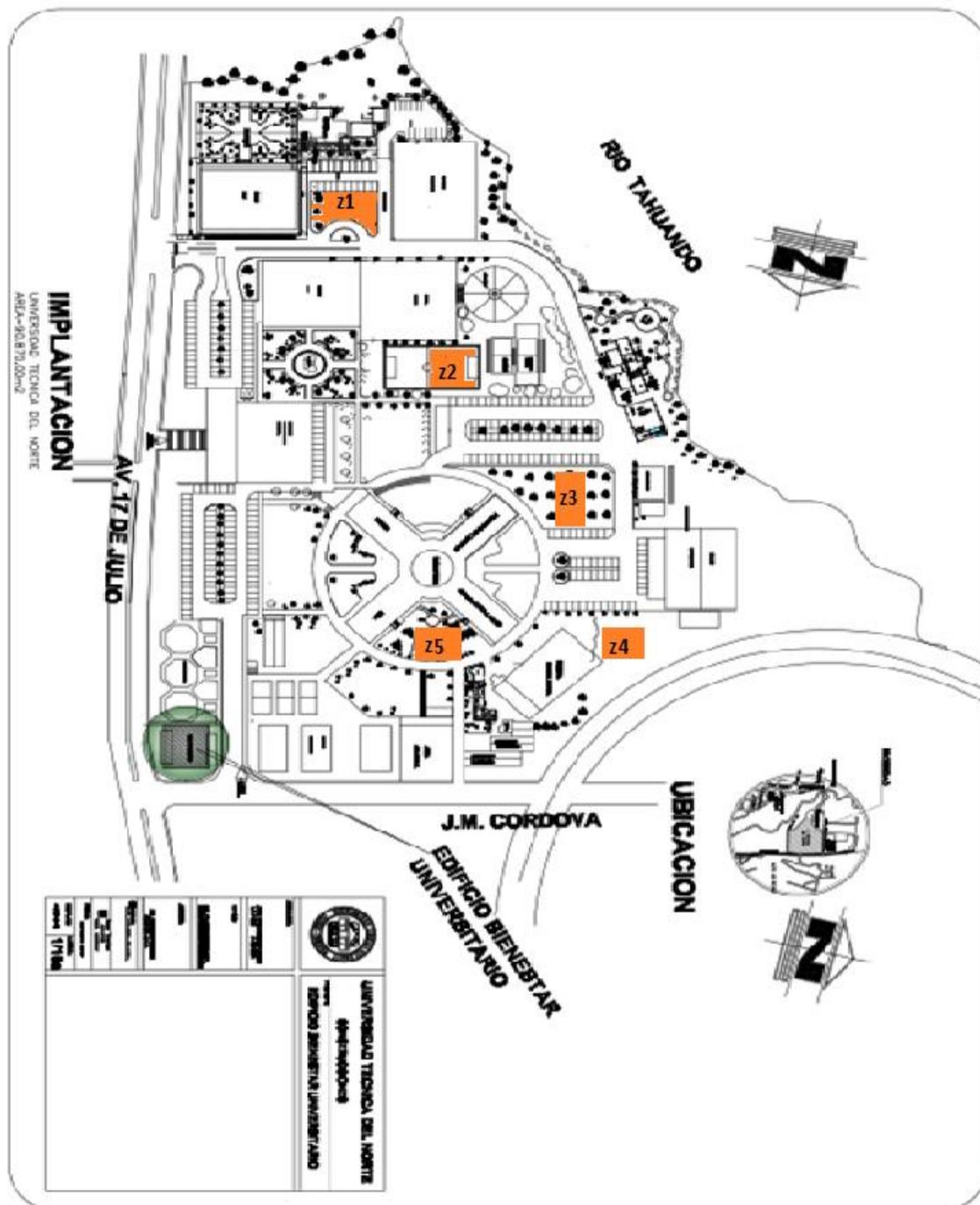
Zúñiga, P. (septiembre de 2008). Curso de instalaciones eléctricas - Instalación eléctrica residencial. Recuperado el 20 de marzo de 2016, de <http://instalacioneselectricasresidenciales.blogspot.com/>

5.4 ANEXOS

ANEXO I: PLANO DEL CAMPUS UTN.



ANEXO II: ZONIFICACIÓN DEL CAMPUS UTN.



Z1: Facultad FCAE “Espacios Verdes Frente al Bar”.

Z2: Facultad FECYT “Espacios Verdes Cancha de futbol”.

Z3: Edificio de Postgrado áreas verdes

Z4: Espacios verdes Piscina Semi-olimpica

Z5: Espacios verdes FICA trasera

ANEXO III: MANUAL DE INSTRUCCIONES TELUROMETRO DUOYI 4300 B.

CONTENIDOS

1. Los avisos de seguridad
2. Características
3. Especificaciones
4. Las marcas y mensajes en la pantalla LCD
5. Medición principio
6. Principio de mediciones de resistencia de tierra
7. Principio de (ρ) las mediciones de resistividad de tierra
8. Preparación para la medición
9. Control de la tensión de la batería
10. Configuración
11. Opciones de configuración
12. Ajuste para el método de medición
13. Ajuste de frecuencia de medición
14. Sitio (ubicación) Explotación No.
15. Marco para el intervalo entre picas de tierra auxiliares en la resistividad del terreno (ρ) de medición
16. Fecha y ajuste de la hora
17. Ajuste de la resistencia residual (R_k) sobre los cables de prueba
18. Luz de fondo

- 19 Apagado automático
20. Voltaje de interferencias Serie 20. (Tensión de tierra) de medición
21. Medición de la resistencia de tierra auxiliar
22. La conexión de los cables de prueba de tierra y sondas de medición simplificados
23. Método de Medición
24. Medición de la resistencia de la Tierra
25. La medición precisa (3 hilos)
26. La medición precisa (4 hilos)
27. Simplificado de medición (2 hilos)
28. Resistividad Tierra (ρ) de medición

ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD

Este instrumento ha sido diseñado, fabricado y probado de acuerdo con la norma IEC 61010: Requisitos de seguridad para aparatos de medición electrónico, y entregado en las mejores condiciones después de pasar la prueba de control de calidad.

Este manual del instrumento contiene advertencias y normas de seguridad que deben ser observadas por el usuario para garantizar un funcionamiento seguro del instrumento y mantenerlo en condiciones de seguridad.

Por lo tanto, leer este manual de instrucciones antes de utilizar el instrumento.

SÍMBOLOS

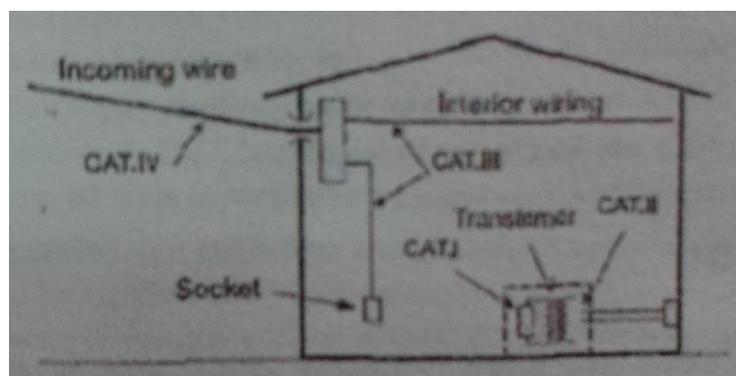
CAT.IV	The circuit from the service drop the service entrance, and to the power meter and primary overcurrent protection device(distribution panel)
CAT.III	Primary electrical circuits of the equipment connected directly to the distribution panel, and feeders from the distribution panel to outlets.
	Instrument with double or reinforced insulation.
	User must refer to the explanations in the instruction manual.

Este instrumento cumple CAT.III 300V / 150V CAT.IV. Para garantizar el funcionamiento seguro de los instrumentos de medida, IEC 61010 normas de seguridad establecida para los diversos entornos eléctricos, categorizados como CATI.I a CAT.IV y llamadas categorías de medición. categorías con la numeración de altura corresponden a entornos eléctricos con mayor energía momentánea, por lo que un instrumento de medición diseñado para entornos CAT.III pueden soportar una mayor energía momentánea que uno diseñado para CATI.II.CAT.I: circuitos eléctricos secundarios conectados a una toma de corriente CA a través de un transformador o un dispositivo similar.

CAT.II: Circuitos primarios de los equipos conectados a una toma de corriente de CA mediante un cable de alimentación.

CAT.III: Ver tabla anterior

CAT.IV: Ver tabla anterior



CARACTERISTICAS

DY43008 es un medidor de resistividad 2/3/4 hilos digital de resistencia de tierra / tierra equipado con un microprocesador y puede medir resistencias de tierra y calcular resistividades tierra (ρ). El instrumento puede medir resistencias de tierra en las líneas de distribución de energía, sistema de cableado de la casa y los aparatos eléctricos, etc., debido a la baja tensión de salida: aprox. 10Vrms o menos.

Diseñado para satisfacer las siguientes normas de seguridad,

IEC 61010-1 (CAT.III 300V, 150V CAT.IV, grado de contaminación 2)

IEC 61010-031 (Requisitos para sondas de mano)

IEC 61557-1, 5 (medidor de resistencia de tierra)

Resultados de medición estables se pueden obtener en un entorno ruidoso mediante la introducción de la tecnología de FFT (Fast Fourier Transform).

Matriz de puntos 192x64, LCD monocromo.

La función de luz de fondo para ver los resultados de las pruebas en áreas con poca visibilidad

Se puede cambiar las frecuencias de medición a frecuencias: 94/105/111 / 128Hz, son seleccionables manualmente o automáticamente.

Función rk está disponible para cancelar la resistencia residual sobre los cables de prueba.

Verificación de la batería Función

Puede medir valores de Voltaje / frecuencia de la serie de interferencia y las frecuencias se muestran perturbaciones de tensión de salida cuando la serie (CA).

Función de medición de la resistencia de tierra auxiliar.

Resistencias de tierra auxiliares y mide y muestra.

Advertencia para las mediciones de resistencia de tierra auxiliares advertencias se visualizan en la pantalla LCD cuando resistencias de tierra auxiliares son demasiado altas y pueden dar lugar a mediciones inexactas.

Auto-Función de apagado.

El instrumento se apaga automáticamente cuando pasa 5 minutos sin ningún tipo de operación de teclas.

Función de memoria. Puede ahorrar 800 resultados medidos.

3. ESPECIFICACIONES

Estándares aplicables

IEC 61010-1 Medición CAT.III 300V2 CAT.IV 150V grado de contaminación 2

IEC 61010-031 estándar para las sondas de mano

IEC 61557-1, 5 Tierra probador de la resistencia

IEC 61326-1 EMC Estándar

Rango de medición y precisión (23 C 5 ° C, humedad relativa de 45 75% de humedad relativa)

Function	Range	Resolution	Measuring Range	Accuracy
Earth Resistance Ro(Rg at p measurement)	2Ω	0.001Ω	0.05-2.099Ω	±3%rdg±0.05W
	20Ω	0.01Ω	0.05-20.99Ω	
	200Ω	0.1Ω	0.5-209.9Ω	
	2000Ω	1Ω	5-2099Ω	
	20kΩ	10Ω	50-20.99KΩ	
200kΩ	100Ω	500-209.9KΩ	±3%rdg±5rdg	
Auxiliary Earth Resistance Rh, Rs				8% of Re+Rh+Rs
Earth Resistivity ρ	2Ω	0.1Ωm-1Ωm Auto ranging	0.3-395.6Ωm	ρ = 2 x lI x a x Rg #
	20Ω		0.3-3956Ωm	
	200Ω		0.3-39.56kΩm	
	2000Ω		0.3-395.6kΩm	
	20kΩ		0.3-1999kΩm	
200kΩ				
Series Interference Voltage Ust(A.C only)	50V	0.1V	0-50.9Vrms	±2%rdg±2dgt (50-60Hz)
Frequency Fst	Auto- ranging	0.5Hz	40Hz-500Hz	

- LCD de matriz de puntos 192x64, luz de fondo en blanco y negro
- Resistencia de tierra: máx 209.9kW. Tierra Voltaje resistividad Interferencia: máx 50.9V.
- Aviso de batería baja: aparece la marca de la batería.
- Medición continua: 400 veces o más con pilas de manganeso: mediciones se repiten en cada 30 segundos con una carga de 1W a 2W gama.
- Indicación de sobre escala: OL
- Apagado automático: apague automáticamente cuando pasa 5 minutos sin ningún tipo de operación de teclas.
- Ubicación para su uso: el uso de interior / exterior (no completamente resistente al agua), 2.000 metros de altura o menos.
- Gama aplicable: Prueba de resistencia de tierra en las líneas de distribución de energía, sistema de cableado de la casa y los aparatos eléctricos.
- Rango de temperatura y humedad (con una precisión garantizada): 23 ° C-5 ° C, humedad relativa del 85% o menos (sin condensación)
- Rango de temperatura de funcionamiento y Humedad: 10oC - 50oC, humedad relativa del 75% o menos (sin condensación)
- Los cables de prueba suministrados no se pueden utilizar a 0 ° C o menos.
- Rango de temperatura de almacenamiento y Humedad: -20oc- -60 ° C, humedad relativa del 75% o menos (sin condensación)
- Protección contra sobrecarga: entre el e-S (P) y entre E-H terminales (C) AC280V (50 / 60Hz) / 10seg
- Soportar la tensión: entre el circuito eléctrico y enclosureAC3540 (50 / 60Hz) / 5 seg

- Resistencia de aislamiento: entre el circuito eléctrico y la caja 50M o más / DC1000V.
- Dimensiones: 167 * 185 * 89 mm.
- Wight: 900g (incluyendo baterías)
- Fuente de alimentación: DC12V: batería seca de tamaño AA de manganeso ((R6P) * 8
- En un uso de este instrumento en condiciones de baja temperatura por debajo de 0 ° C, se recomienda el uso de pilas alcalinas con especificación de baja temperatura.

Variar para mantener el error máximo de funcionamiento

Rango de medición dentro del cual se aplica el error máximo de funcionamiento ($\pm 30\%$).

2W Gama: 0,5 W-2.099W

20g Rango: 2W-20.99W

200W Rango: 20W-209.9W

2000W Rango: 2 kW-20.99kW

20 kW Rango: 2 kW-20.99kW

200 kW Rango: 20 kW-209.9kW

Variación de tensión de alimentación: unidad de la marca de advertencia de batería aparece la variación de temperatura: -10 oC - 50 oC

Serie Interferencia Voltaje: 162/3 Hz, 50 Hz, 400 Hz y DC3V.

No hay necesidad de tener en cuenta la interferencia de voltaje DC en serie 2Ω

Auxiliar resistencia de propagación: en el plazo siguiente rango o 50 kW o menos lo más pequeño. (En las mediciones r, "Re" en esta fórmula se sustituye por "Rg".)

Rh, Rs limit	Accuracy	Accuracy
$R_e < 0.40\Omega$	1k Ω	$\pm 5\%rdg \pm 1\%fs$
$0.4\Omega \leq R_e < 1.00W$	2k Ω	
$1.00\Omega \leq R_e < 2.00W$	3.5k Ω	
$2.0\Omega \leq R_e$	$= R_e \times 100 + 5k\Omega$ ($R_h, R_s < 50k\Omega$)	

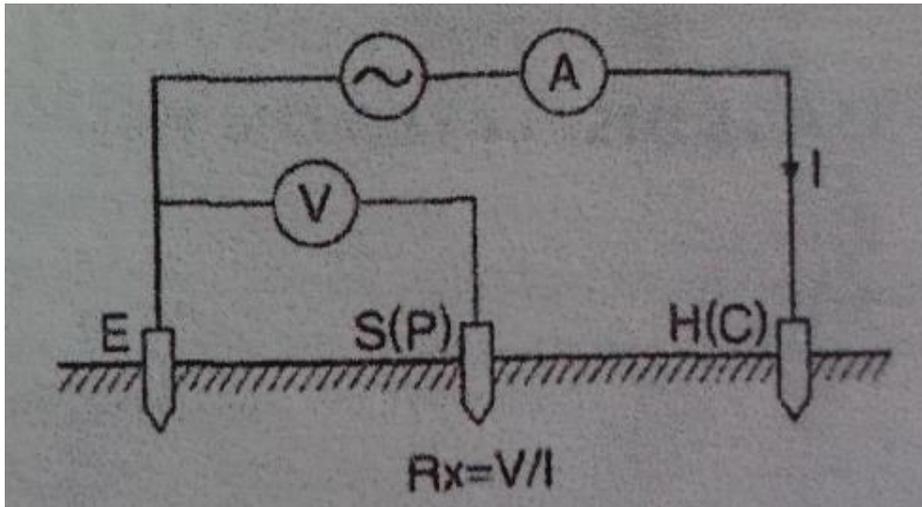
MARCAS Y MENSAJE En la pantalla LCD

Marks and Message	Details
BATT Batt Error	Battery voltage is low. Replace the batteries.
Measuring...	This mark is being displayed during a measurement.
OL	Measuring range for the selected Range is exceeded. In case of Ust measurements, 50V or more is detected.
-- --	Failed to make successful measurements
Rh > limit	Rk is exceeded the limit value; exceeding 2W at 2 Range and exceeding 9W at 20 or lower.
Range <= 20	Setting for Rk can be made at 20W or lower.
Only 2w/3w/4w	Setting for Rk can be made only at 2w, 3w, 4w measurements.
Voltage Hight!	Ust is Regulated value or more.
Rh > limit Rs > limit	Rh and rs values exceed the allowable range. Correct results might not be obtained.
No Saved data	No saved data exists.
Memory Full	Memory is full. No more data can saved.
Delete This Item?	A confirmation message before deleting the selected.
Delete All Item?	A confirmation message before deleting all selected.
Data Succed Delete	All items have been deleted.
NO03/095	Nxxx is a memory no., and the left message saying 95 data have been stored. (Displayed at the Data Review Screen.)
No03	Indicating the measured result is saved with Memory NO. 003.
S005	The character S stands for Site. Selectable from 000 to 999.
Saved	Data is successfully saved.

5. PRINCIPIO DE MEDICIÓN

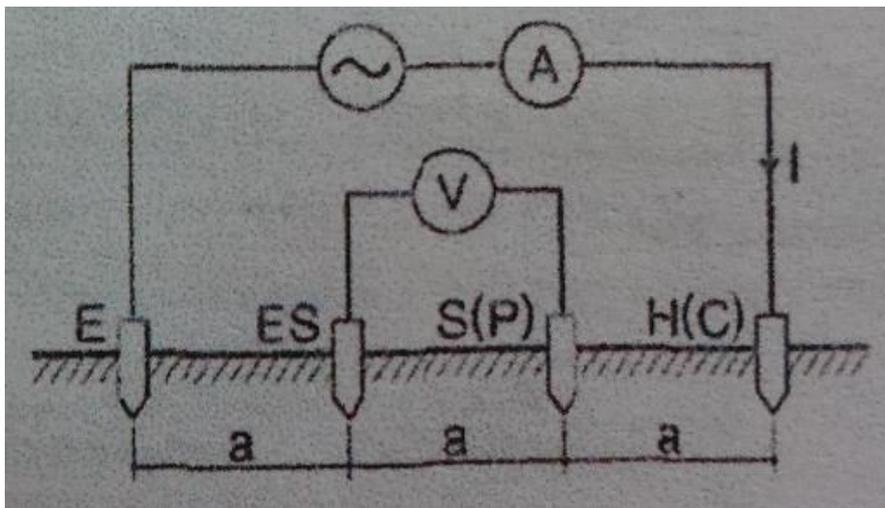
5-1 principio de medición de la resistencia de tierra

Este instrumento hace que la medición de resistencia de tierra con caída de potencial método, que es un método de obtención de valor de la resistencia de tierra R_x mediante la aplicación de CA constante corriente I entre el objeto de medición E (toma de tierra) y H (C) (electrodo de corriente), y el hallazgo la diferencia de potencial V entre e (electrodo de tierra) y S (P) (potencial de electrodo).



5-2 Principio de la resistividad del terreno (ρ) Medición

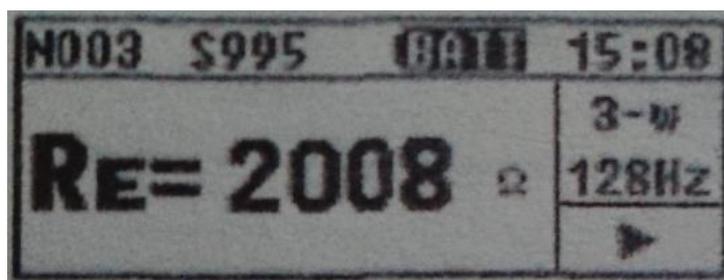
De acuerdo con el método 4 polos Wenner aplicar corriente AC I entre el E (electrodo de tierra) y H (C) (electrodo de corriente) para averiguar el potencial V diferente entre el potencial del electrodo S (P) y auxiliares electrodos de tierra ES. Para obtener la resistencia de tierra R_{GW} , dividiremos la diferencia de potencial V por la corriente AC en el que el intervalo entre los electrodos es un (m). A continuación, una fórmula: $P = 2 \times P \times a \times R_g (W \times m)$



6. PREPARACIÓN PARA LA MEDICIÓN

Comprobar 6-1 Voltaje de la batería

Encienda el instrumento. Si la pantalla es clara y sin la marca de batería baja "BATI" que muestra, voltaje de la batería es suficiente. Que los espacios en blanco pantalla o con la marca de batería baja se indican, reemplace las baterías de acuerdo peaje de la batería y del fusible.

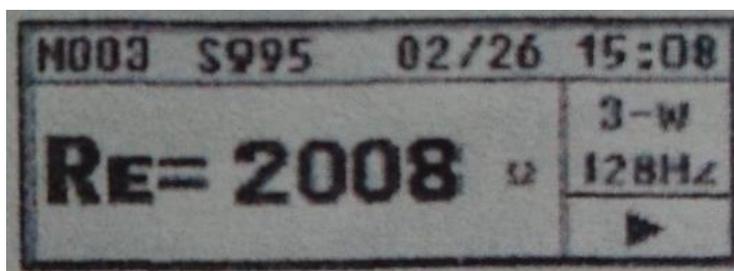


Nota) Las mediciones no se pueden hacer, aunque se pulse el botón de prueba, mientras que la identificación de marca baja de la batería en la pantalla LCD. Las mediciones se detienen cuando la marca de batería baja aparece en la pantalla LCD.

6-2 ajustes

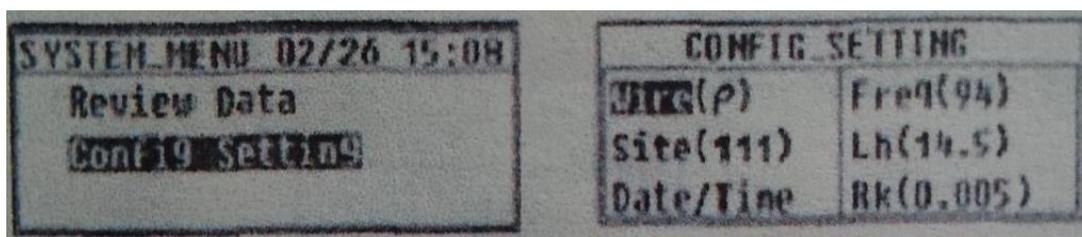
6-2-1 Ajustes de artículos

Este instrumento se inicia con el modo de medición cuando está encendido mientras el interruptor de la gama se ha sentado a la posición que no sea apagado.



Las condiciones de medición deben establecerse antes de iniciar la medición. Ajuste de la fecha y hora permite un ahorro de datos medidos con el tiempo.

Información. Pulse la tecla Menú y entrar en el sistema de menú. A continuación, seleccione configuración y ajuste con las teclas del cursor y pulse el botón ENTER / Guardar clave para entrar en el modo de configuración y ajuste. Al pulsar la tecla ESC dos veces sale del modo de configuración y ajuste y vuelve al modo de medición.



El ajuste de los parámetros siguientes se puede hacer en este instrumento.

cable: método de medición (sistema de cableado) Frecuencia: frecuencia de medición

Sitio: sitio (localización) n

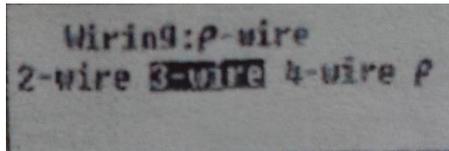
LH: Intervalo de las picas de tierra auxiliares en tierra resistividad (p) Medición de la fecha / hora: año / mes / día. Tiempo (24 horas de visualización)

RK: la resistencia residual sobre los cables de prueba

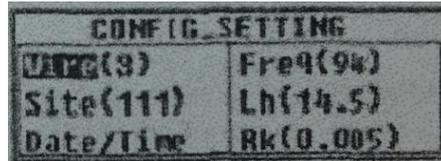
6-2-2 Ajuste para el método de medición

Método de medición se puede seleccionar entre: 2 vías, 3 vías, 4 vías, y p (resistividad).

Seleccionar alambre con la tecla del cursor en la pantalla configuración y ajuste y pulse el botón ENTER / Guardar clave para pasar a la pantalla Configuración de cableado.



Seleccione el sistema de cableado apropiado con la tecla del cursor y pulse el botón ENTER / Guardar clave. A continuación, se mostrará la pantalla configuración y ajuste con el Sistema de cableado seleccionada.

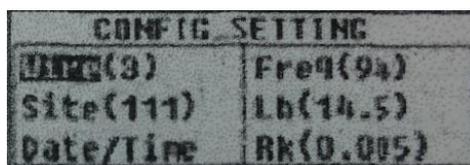


6-2-3 Ajuste de medición de frecuencia

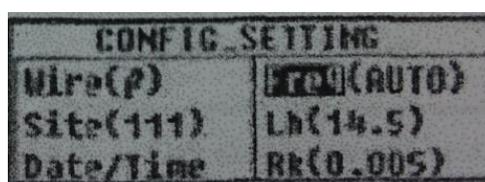
Frecuencias de la señal de medición se pueden seleccionar del siguiente cuatro bandas de frecuencia con este instrumento con el fin de minimizar la influencia de la tensión de interferencia de la serie (tensión de tierra).

* Automático * * 94Hz 105Hz 111Hz * * 128Hz

Los instrumentos de seleccionar automáticamente la mejor frecuencia adecuada al seleccionar Auto y emitir la señal de frecuencia. Seleccione Frecuencia con la tecla del cursor en la pantalla y pulse el configuración y ajuste / guardar tecla ENTER para visualizar la pantalla de configuración de frecuencia.

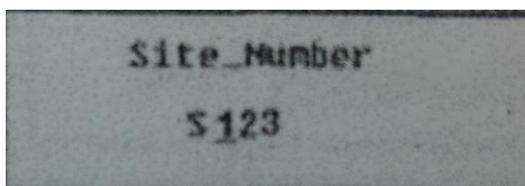


Selección de una frecuencia conveniente, con la tecla del cursor y pulsando la tecla ENTER / guardar tecla de retorno a la pantalla configuración y ajuste con la frecuencia seleccionada.

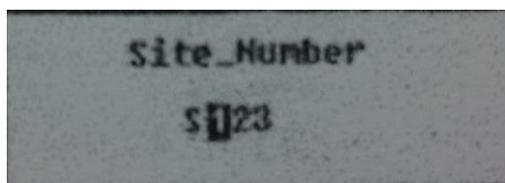


6-2-4 sitio (ubicación) sin ajuste

El lado (lugar) donde se realizaron las mediciones se puede guardar con números. Elija un sitio con la tecla del cursor en la pantalla configuración y ajuste, y pulse la tecla ENTER / guardar para



Seleccione cualquier dígito a cambiar con la tecla del cursor, y pulse el botón ENTER / Guardar clave. A continuación, seleccione el



Presione la tecla de cursor hacia la derecha > para aumentar el número y la tecla del cursor izquierda < para reducir los números. Mantenga presionado hacia abajo para cambiar los números rápidamente. Pulse la tecla ENTER / guardar para confirmar el número.

Repita este procedimiento para cambiar los otros dígitos. Pulse la tecla ESC cuando se hacen ajustes. A continuación, la pantalla configuración y ajuste con el sitio seleccionado No, se mostrará.

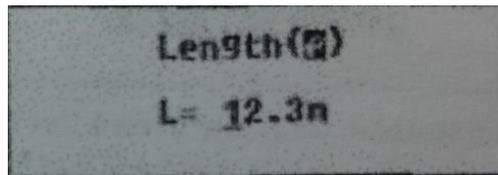
CONFIG SETTING	
wire(p)	Freq(94)
SITE(123)	Lh(14.5)
Date/Time	Rk(0.005)

Nota) Sitio N ° es seleccionable desde 000 hasta 999.

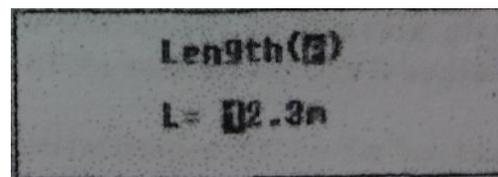
6-2-5 Ajuste del intervalo entre las picas de tierra auxiliares en la resistividad del terreno (ρ)

Haciendo ajuste de los intervalos entre picas de tierra auxiliares es necesario medir la resistividad de tierra (ρ)

Seleccionar Lh con la tecla del cursor en la pantalla configuración y ajuste, y pulse la tecla ENTER / guardar para mostrar la pantalla de ajuste de longitud.

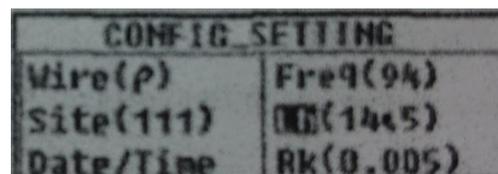


Seleccione cualquier cifra que quiera cambiar con la tecla del cursor, y pulse la tecla ENTER / guardar. A continuación, los dígitos seleccionados se resaltan y listo para ser cambiados.



Pulse la tecla derecha del cursor > para aumentar el número y la tecla de flecha izquierda < para reducir los números. Mantenga presionado la tecla de cursor hacia abajo para cambiar los números rápidamente. Pulse el botón ENTER / guardar para confirmar un número.

Repita este procedimiento para cambiar los otros dígitos. Oprima la tecla ESC cuando se hacen ajustes. A continuación, se mostrará la pantalla configuración y ajuste con un nuevo intervalo.



Nota) Intervalos van ajustarse dentro de un rango de 1.0 a 30.0m. Si se introduce un intervalo más largo fuera de este rango en la pantalla de ajuste, se cambia automáticamente a 30.0m al pulsar la tecla ENTER /guardar.

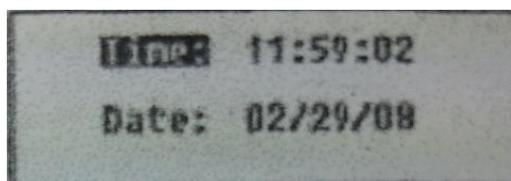
Nota) Los intervalos de hasta 20 metros se pueden seleccionar con los cables de prueba suministrados.

6-2-6 Ajuste de fecha y hora

Este instrumento tiene una función de reloj y puede guardar los datos medidos con el tiempo y de datos con información de hora y fecha. El reloj no se restablecerá una vez que se ha establecido, incluso después de apagar el instrumento. Se requiere un ajuste manual para mantener la hora del reloj siempre tiene la razón.

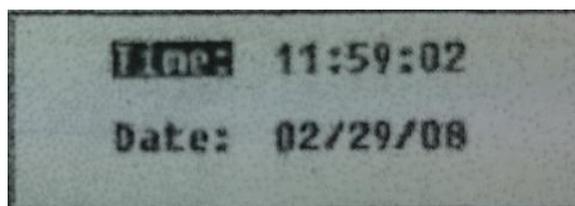
Ajuste de la hora se puede hacer de procedimiento siguiente.

Seleccione Fecha / Hora con la tecla del cursor en la pantalla configuración y ajuste, y pulse la tecla ENTER / guardar para mostrar la pantalla de ajuste de hora y fecha.

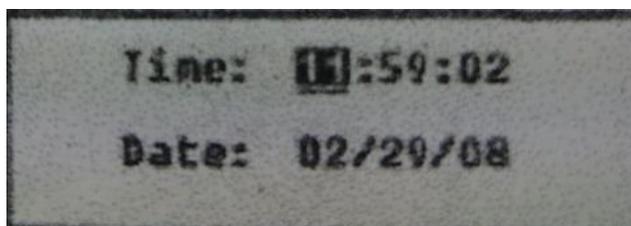


(1) Ajuste de la hora

Ponga el cursor en el tiempo y pulse la tecla ENTER / guardar, y mostrar la pantalla de ajuste de tiempo.



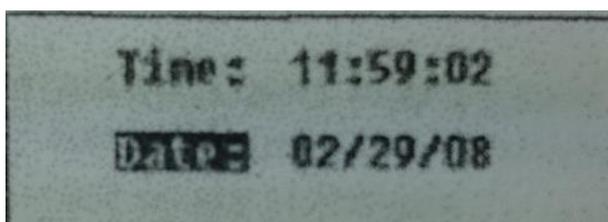
Seleccionar un parámetro a cambiar con la tecla del cursor, y pulse el botón ENTER / Guardar clave. A continuación, seleccione el dígito es resaltado y listo para ser cambiado. El reloj es el de 24 horas.



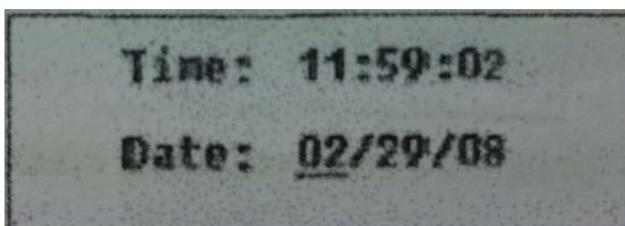
(2) Ajuste de la fecha

Fecha se muestra en el siguiente orden: mes / día / año.

Ponga el cursor en Fecha y pulse el botón ENTER / guardar tecla para mostrar la pantalla de configuración de fecha.



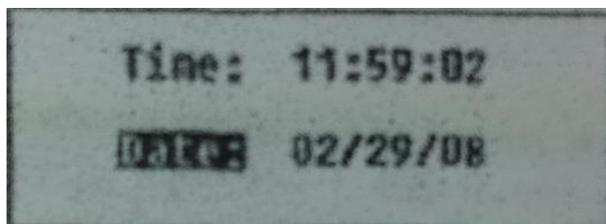
Seleccionar un parámetro a cambiar con la tecla del cursor, y pulse el botón ENTER / Guardar clave. A continuación, el identificador de dígitos seleccionado resaltado y listo para ser cambiado.



Pulse el cursor derecho > para aumentar el número y la tecla del cursor izquierda < para reducir los números. Mantenga pulsado la tecla de cursor hacia abajo para cambiar los números rápidamente.

Pulse la configuración de pantalla para confirmar un número.

Repita este procedimiento para cambiar los otros dígitos. Al pulsar la tecla ESC cuando los ajustes se vuelve a la pantalla de ajuste de la hora / fecha por hacer.



Oprima la tecla ESC de nuevo para salir del modo de ajuste y volver a la pantalla configuración y ajuste . A continuación, el reloj comienza.

Nota) el segundo no se visualiza en la pantalla principal; sólo se muestran las horas y minutos.

Nota) la batería de reserva puede agotarse cuando el reloj se vuelve incorrecta después de encender / apagar el instrumento. En este caso, por favor, póngase en contacto con nuestro distribuidor local. La vida útil de la batería de reserva es de aprox. 5 años.

Configuración 6-2-7 para la resistencia residual (Rk) sobre los cables de prueba.

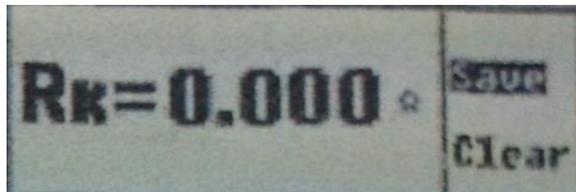
Este instrumento puede almacenar la resistencia residual (Rk) de los cables de prueba antes de comenzar las mediciones en el sistema de Re 2/3/4 hilos, y se puede deducir la resistencia del resultado de la medición. El ajuste de Rk se puede hacer de procedimiento siguiente.

Nota) Conexiones de cables de prueba varían según los métodos de medición. Consulte las páginas correspondientes para obtener más detalles.

Nota) Rk no puede ser salvado, mientras que la marca BATT o BATT error de batería baja se visualiza en la pantalla LCD.

Seleccione el 2W o 20W.

Seleccionar Rk con la tecla del cursor en la pantalla configuración y ajuste, y pulse el botón ENTER / guardar tecla para mostrar la pantalla de ajuste Rk.



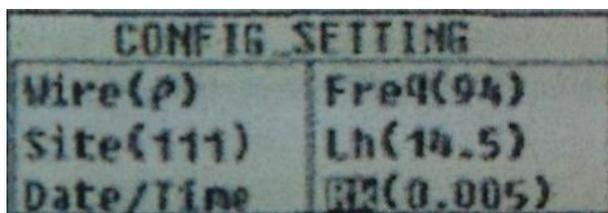
Ponga la tecla del cursor derecha > para aumentar el número y la tecla de flecha izquierda < para reducir a los números. Mantenga pulsado la tecla de cursor hacia abajo para cambiar los números rápidamente.

Pulse el botón ENTER / guardar para confirmar un número.

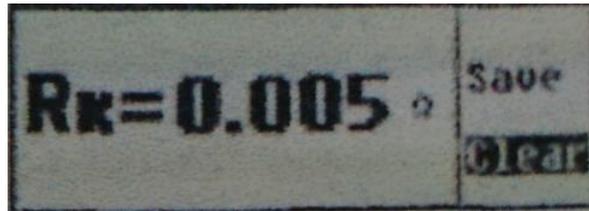
Repetir el ENTER / guardar tecla para cambiar el resto de los dígitos. Al pulsar el ESC cuando se hacen ajustes retorno a la pantalla de ajuste de la hora / fecha.

Para cambiar la fecha, continúe con el acelerado (2). Oprima la tecla ESC de nuevo para salir del modo de ajuste y volver a la pantalla configuración y ajuste . A continuación, el reloj comienza.

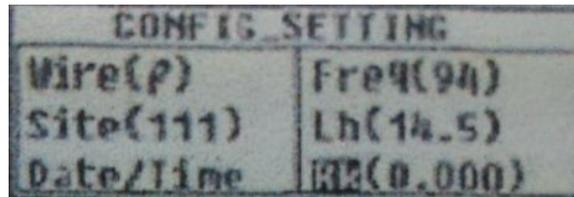
Presione el botón de prueba para medir Rk. Los resultados de las mediciones no se guardarán hasta que se pulse el botón ENTER / guardar. La pantalla configuración y ajuste aparece cuando se presiona el botón y se guardan los datos.



El valor Rk se mantiene incluso de apagar el instrumento. Para borrar los valores Rk guardados, seleccione Borrar en el Rk pantalla de ajuste y pulse el botón ENTER / Guardar clave. Entonces, el valor restaura a 0.000Ω



A continuación, la pantalla se vuelve a mostrar configuración y ajuste.

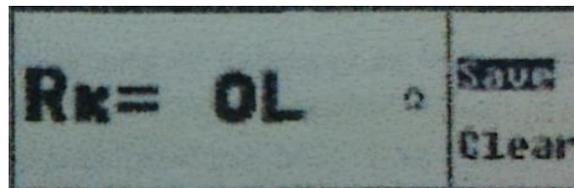


Nota) Los valores superiores a R_k siguientes valores no se pueden guardar.

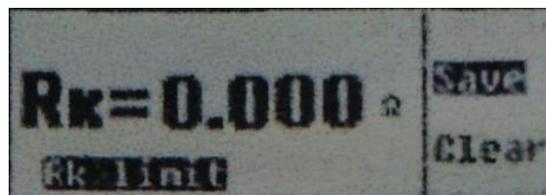
2Ω Rango: máx 2Ω , 20Ω Rango: máx 9Ω

Un mensaje que se muestra en la Figura 30 se muestra cuando el R_k medido es superior por encima de los valores.

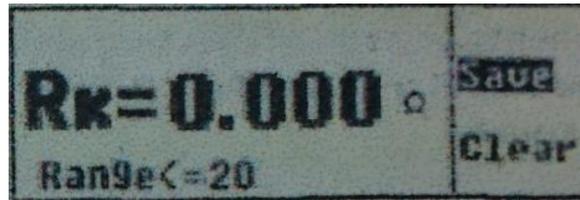
Nota) el mensaje se muestra en Aparecer también cuando se funde un fusible.



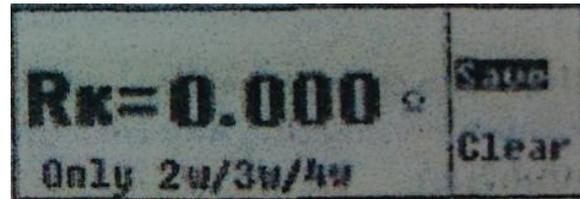
El siguiente mensaje aparece y muestra que los datos no se pueden guardar cuando el ENTER /guardar clave se presiona con pantalla anterior.



Nota) siguiente mensaje aparece y muestra que los datos no se pueden guardar cuando se trata de salvar al R_k $200k\Omega$ o superiores Rangos. Los valores guardados en R_k 2 ohmios y 20Ω Gammas se mantienen efectivos en $200k\Omega$ o rangos superiores.



Nota) siguiente mensaje aparece y muestra que los datos no se pueden guardar cuando se trata de salvar al Rk alambre p medición ().



6-3 Luz De Fondo

Para facilitar el trabajo en situaciones de poca luz o de noche, se proporciona una función de luz de fondo que ilumina la pantalla LCD. Pulse para utilizar esta función. La luz de fondo se iluminará durante unos 30 segundos y se apagará automáticamente. Si se pulsa la tecla de la luz está encendida puede apagarlo por el manual.

6-4 apagado automático

Este instrumento es alimentado automáticamente sobre 5 min después de la última operación del interruptor. Para salir del modo de auto-apagado, el interruptor de alcance a la posición apagado una vez, y volver a configurarlo la distancia a la que una medición se lleve a cabo.

6-5 Series Interferencia de tensión (tensión de tierra) de medición

La medición se inicia automáticamente durante una medición de resistencias de tierra y resistividad de la tierra, y los resultados se pueden consultar en la pantalla de visualización del resultado.

Mensaje de **advertencia de alto voltaje!** Se visualiza en la pantalla principal cuando la tensión de tierra (UST) es alta.

Gama $2\Omega / 20\Omega$: **advertencia de alto voltaje!** aparece cuando el voltaje es de 12 V o superior. Medición de resistencia de tierra no se puede hacer cuando el voltaje excede 15V.

Gama $2\Omega / 20\Omega$: **advertencia de alto voltaje!** aparece cuando el voltaje es de 15 V o superior. Medición de la resistencia de tierra no se puede realizar el voltaje excede 20V.

Nota) DC tensiones parásitas de serie no se pueden medir.

6-6 Medición de resistencia de tierra auxiliar

Este instrumento puede medir y mostrar las resistencias de tierra auxiliares (R_h , R_s).

Cuando el valor de R_h es más que el valor regulado o 50W, un mensaje de advertencia $R_h > \text{límite}$ o $R_s > \text{límite}$ aparecen. La pantalla LCD muestra $R_h = OL$ Ω o $R_s = OL$, cuando el R_h o R_s valores superan 50k Ω . Estos parámetros se miden de forma automática en las mediciones de resistencia de tierra auxiliares, y se puede comprobar en la pantalla de resultados de visualización.

Nota) R_h y R_s representan auxiliar polo de tierra H (C) y la resistencia de tierra auxiliar de S (P), respectivamente.

6-7 Conexión de los cables de prueba de tierra y sondas de medición simplificados

Conecte los cables de prueba de tierra y sondas de medición simplificadas a los conectores en el instrumento con firmeza. De lo contrario, se produce un fallo de contacto y resultados erróneos puede leerse en la pantalla LCD.

Nota) algunos números distintos de OL se pueden mostrar en la pantalla LCD mientras realiza mediciones sin necesidad de conectar ningún cable o sonda a 200 ohms o superiores rangos. Esto no es un fallo de funcionamiento.

7. Método de Medición

Medición 7-1 Resistencia Tierra

7-1-1 medida exacta (3 hilos) * tierra con cables de prueba

Este es un método estándar para medir resistencias de tierra. Las resistencias de tierra medidos están libres de resistencias de tierra auxiliares, pero las resistencias en el terminal E están contenidas.

Los terminales que se utilizarán, S, terminales E (P) H (C)

Cables de prueba: se conectan a la E, S terminales (P) H (C)

y varilla de tierra auxiliares 2pcs, se conectan a la S (P) H y el terminal (C)

(1) Ajuste del sistema de cableado

Seleccione el alambre (4) con referencia a la configuración de 6-2-2 método de medición en este manual.

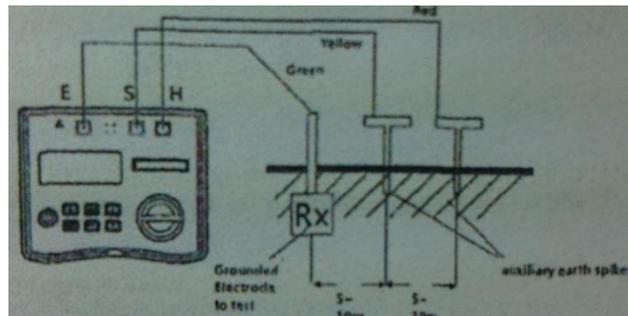
(2) Ajuste de Rk

1. Inserte firmemente cada enchufe de 3 cables de prueba (verde, amarillo, rojo) a los conectores correspondientes en el instrumento.
2. Seleccione el 2Ω o rango 20Ω
3. Enganche 3 pinzas de cocodrilo a todos ellos cortocircuito.
4. Guarde el Rk valora con referencia al 8-2-7 Ajuste de la resistencia residual (Rk) sobre los cables de prueba.

Nota) una rotura en cables de prueba o el agotamiento de los fusibles se sospecha cuando la pantalla LCD muestra $R_k = OL \Omega$ mientras que 3 cables de prueba están siendo apuntalados.

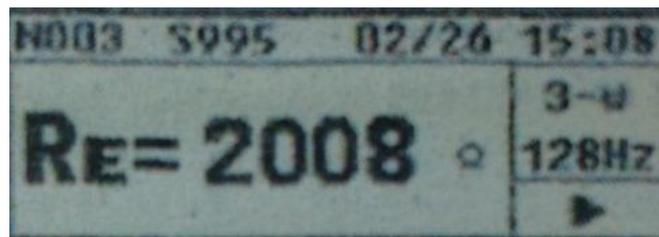
(3) La conexión de picas de tierra auxiliares y cables de prueba pegar las picas de tierra auxiliares S (P) y H (C) en el suelo profundamente. Ellos deben estar alineados en un intervalo de 5-10 m desde el equipo de toma de tierra bajo prueba. Conectar el cable de prueba verde a la puesta a tierra de equipos bajo prueba, el conductor de prueba de color amarillo con el pico de masa auxiliar.

S (P) y el cable de prueba rojo al pico de masa auxiliar H (C).

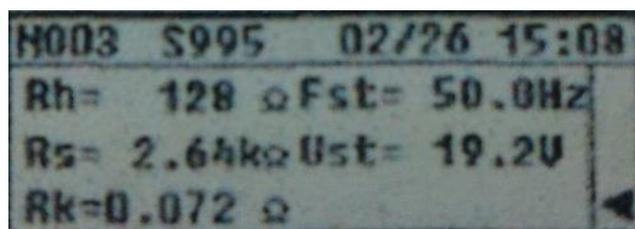


(4) Medición de la resistencia de la Tierra

Seleccione un rango (rango es cualquier bien) cuando se realiza la conexión, y pulse el botón de prueba. Una información medidas..... Se muestra en la parte superior derecha de la pantalla LCD. Los R_E resistencia de tierra medida se muestran en la pantalla LCD. El procedimiento de operación es igual a la de medición 3 vías.



Al pulsar el cursor se muestra la pantalla de visualización de resultados para ver cada parámetro.



Nota) las lecturas no pueden corregir cuando la resistencia de tierra auxiliar es demasiado alta. Se adhieren las picas de tierra auxiliares S (P) y H (C) en la parte húmeda del suelo. Si aparecen un mensaje $R_h > \text{límite}$ o $R_s > \text{límite}$, la resistencia de tierra auxiliar es demasiado alto para hacer métricas menos. Vuelva a comprobar la conexión de los cables de prueba.

Dar suficiente agua donde los picos tienen que ser pegado en el pedregoso seco o parte arenosa o de la tierra para que se convierta en húmedo. En el caso del hormigón, estaba el pico de masa auxiliar hacia abajo y el agua, o poner un paño húmedo, etc. en la espiga cuando se hacen mediciones.

7-1-2 medida exacta (4 vías) * tierra con cables de prueba

El terminal ES También se utiliza con los otros terminales utilizados en las mediciones precisas de 3 hilos. En este caso, los resultados más precisos se pueden obtener debido a resistencias de tierra auxiliares de la medida, por otra parte, la resistencia de los cables de prueba conectada a la terminal E se pueden cancelar.

Terminales a utilizar: terminales de E ES, S (P) H (C)

Cables de prueba: conectarse a la E, ES S (P), terminales H (C) (el cable de prueba ES debe estar conectado al equipo de puesta a tierra bajo prueba donde se conecta el cable de prueba E)

Auxiliar ataque masivo de tierra: 2 piezas

(1) Ajuste del sistema de cableado

Seleccionar alambre (4) con referencia a 6-2-2 ajuste para el método de medición en el manul.

(2) Ajuste de R_k

Los resultados de medición obtenidos en el sistema de 4 hilos no están verse influidos por los cables de prueba conectados al terminal E, pero configuración de R_k se pueden hacer en este instrumento.

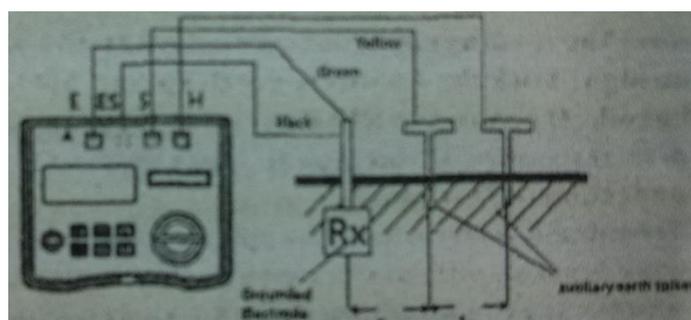
1. Inserte firmemente cada enchufe de 4 conductores de prueba (verde, negro, amarillo, rojo), a los conectores correspondientes del instrumento.
2. Seleccione el rango 2Ω o 20Ω .
3. Participe con 4 pinzas de cocodrilo a todos ellos cortocircuito.
4. Guarde el R_k valor con referencia al 6-2-7 escenario de la resistencia residual (R_k) sobre los cables de prueba.

Nota) una rotura en cables de prueba o el agotamiento de los fusibles se sospecha cuando la pantalla LCD muestra $R_k = OL\Omega$ mientras que 4 cables de prueba están en cortocircuito.

(3) La conexión de picas de tierra auxiliares y cables de prueba

Se adhieren las picas de tierra auxiliares S (P) y H (C) en el suelo profundamente. Ellos deben estar alineados en un intervalo de 5-10 m desde el equipo de toma de tierra bajo prueba. Conectar el cable de prueba verde a la puesta a tierra de equipos bajo prueba, la prueba de plomo amarillo al pico de masa auxiliar S (P) y el cable de prueba rojo al pico de masa auxiliar H (C).

El cable de prueba negro conectado al terminal ES debe estar conectado al equipo de puesta a tierra bajo prueba.



Pipe, una tierra común de una fuente de alimentación comercial y un terminal de tierra de un edificio, se puede utilizar con el método de 2 hilos.

Sin embargo, las resistencias de tierra medidos contienen la resistencia de tierra auxiliar y la resistencia del cable de prueba E.

Este aparato se suministra con un conjunto de prueba de medición simplificada conduce por el cual los dos pinzas de cocodrilo y la barra plana de prueba puede ser reemplazado y se utiliza si es necesario.

Terminales a utilizar: terminales E S (P) H (C)

Prueba de plomo: uno a la terminal E, sondas de medición simplificado a los terminales S y H y cortocircuito estos terminales.

Ninguno se utiliza: tierra auxiliar pico

(1) Sistema de Ajuste o cableado

Seleccione el alambre (2) con referencia al escenario de 8-2-2 método de medición en este manual.

(2) Ajuste de Rk

1. Poner las pinzas de cocodrilo a los cables de prueba 2 (verde, rojo), y conectar el conector verde a la terminal E y los dos conectores rojos en los terminales H (C) S (P) y, respectivamente.

2. Seleccione el rango 2Ω o 20Ω

3. Enganche 2 pinzas de cocodrilo para cortocircuitar los dos.

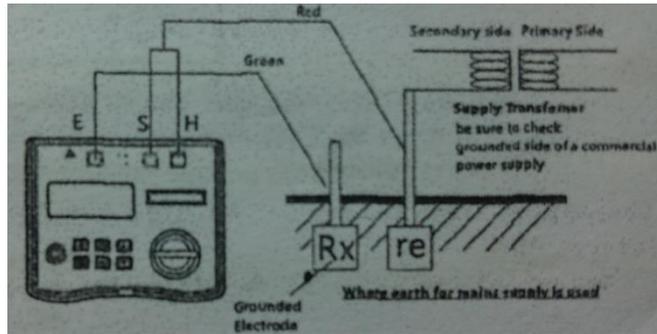
4. Guarde el Rk valora con referencia al 6-2-7 escenario de la resistencia residual (Rk) sobre los cables de prueba.

Nota) Una rotura en cables de prueba o el agotamiento de los fusibles se sospecha cuando la pantalla LCD muestra $R_k = OLW$ 4 cables de prueba están siendo apuntalada.

(3) Conexión

Conecte los cables de prueba como se muestra en.

Nota) Cuando no se utilizan las sondas de medición suministrados simplificados, el S (P) y las terminales H (C) deben ser apuntalados.



(4) Medición de Resistencia Tierra

Seleccionar un rango de resistencia alta cuando se realiza la conexión, y pulse el botón de prueba. A continuación, los valores de resistencia volver a las tierras se visualizan en la pantalla LCD. Seleccionar un rango inferior para las resistencias de tierras bajas.

(S) resistencias medidas en medida simplificada

Método de dos hilos se utiliza para la medición simplificada. En este método, se añade la resistencia de tierra del electrodo conectado a tierra (re) conectado al terminal S (P) a la verdadera resistencia tierra Rx y muestra como valores indicados re.

$$Re \text{ (valor indicado)} = Rx + re$$

Si el Re se conoce de antemano, el verdadero valor de resistencia de tierra Rx se calcula como sigue.

$$Rx = Re - re$$

Nota) la re no puede ser cancelada por el ajuste de Rk.

7-2 resistividades de la Tierra (p)

Hacer un ajuste del intervalo entre picas de tierra auxiliares primera y la medición de las resistencias de tierra con las 4 picas de tierra auxiliares clavadas en el suelo a intervalos regulares. A continuación, el instrumento puede calcular y resistividad pantalla LCD tierra una la forma automática.

Terminales a utilizar: terminales de E ES, S (P) H (C)

Cable de prueba: se conectan a la E, ES, S (P) H y terminales (C)

Pico de masa auxiliar: 4 PC

(1) Ajuste del sistema de cableado

Seleccione el alambre (p) con referencia al escenario de 6-2-2 método de medición en este manual.

Nota) el instrumento no acepta ningún cambio de configuración en Rk mientras se mide la resistividad del terreno (p)

(2) Conexión de las picas de tierra auxiliares y cables de prueba

Se adhieren las cuatro picas de tierra auxiliares en el suelo profundamente. Ellos deben estar alineados en un intervalo de 1-30m. La profundidad debe ser de 5% o menos del intervalo entre los picos.

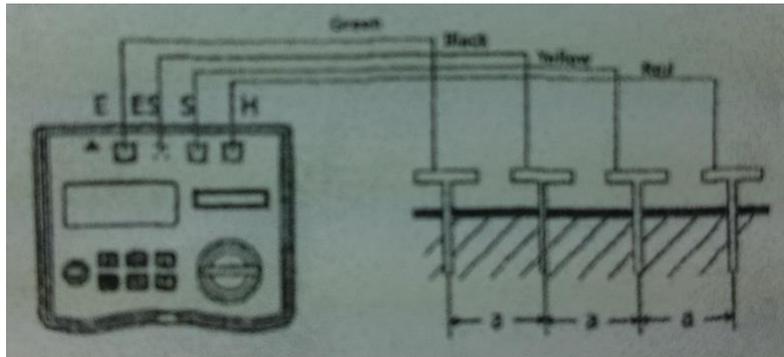
(Por ejemplo, los picos deberían aferrarse a la profundidad de 25 cm o menos cuando el intervalo de las picas de tierra auxiliares en 5m.)

Si los picos pegado demasiado profundo, puede resultar en la medición de la resistividad del terreno incorrecto.

Nota) los cables de prueba suministrados se pueden utilizar para las espigas clavadas en el intervalo de 20 m máx.

Nota) la longitud de la espiga de tierra auxiliar suministrada es de 20 cm.

Conectar la prueba de negro amarillo verde,, conduce conectado a la E, ES, S (P) y los terminales H (C) en el instrumento de las picas de tierra auxiliares de la más cercana a la más lejana en este orden.



(4) la resistividad de la Tierra (ρ)

Seleccione un rango (cualquier rango está bien) cuando se realiza la conexión, y pulse el botón de prueba. A continuación se muestran la resistividad medida tierra (ρ) y la resistencia de tierra R_g entre los terminales ES-S.

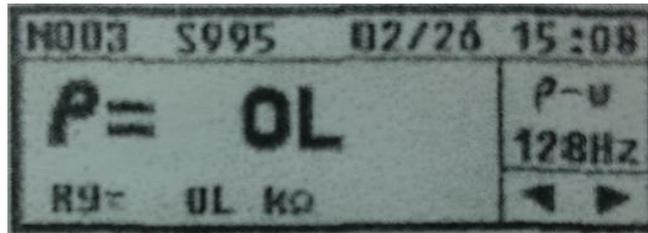


Al pulsar las teclas de flecha muestra parámetros como se muestra.



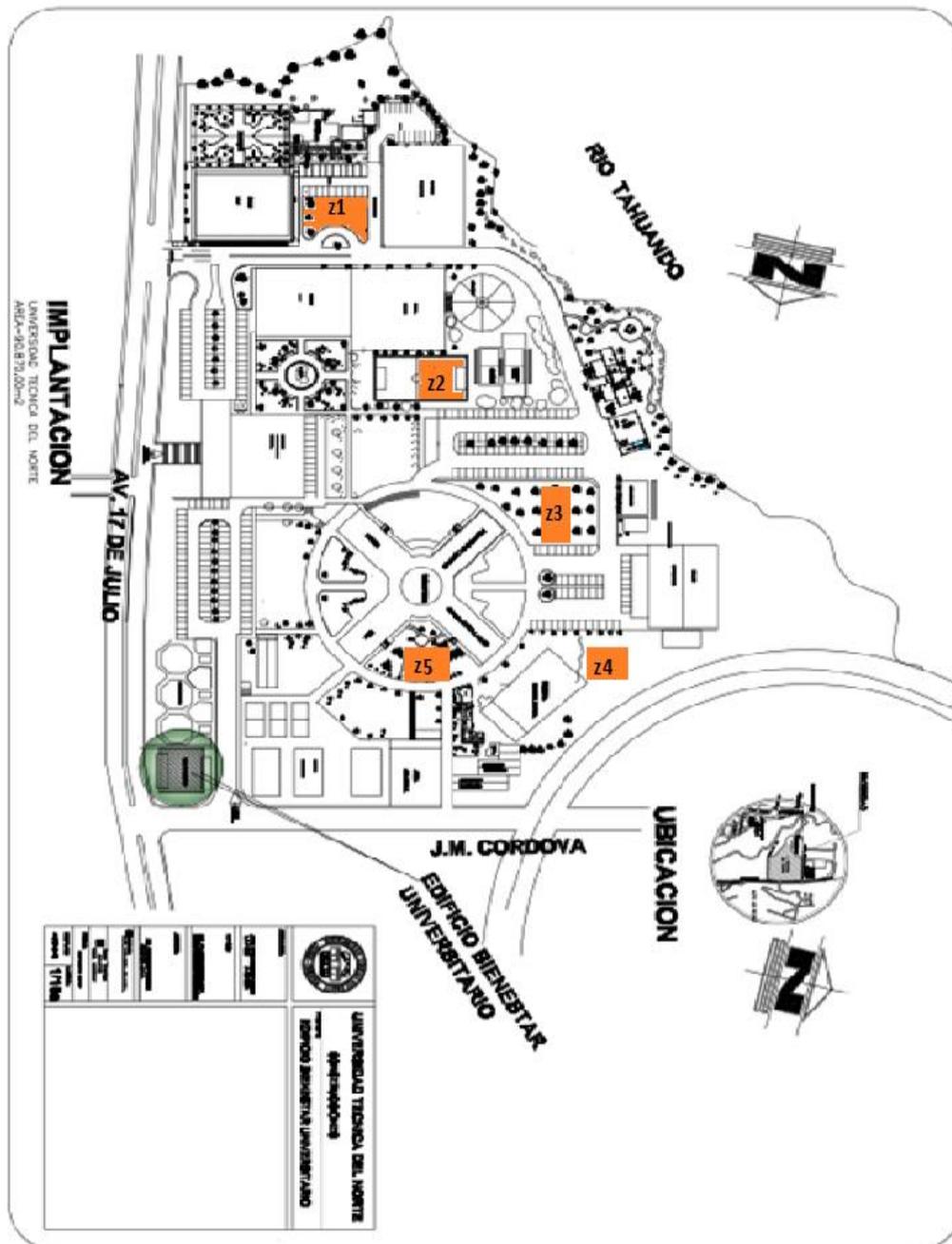
Pulse la tecla para volver a la pantalla principal.

Si el valor de R_g es demasiado grande, la pantalla aparece como se muestra. En este caso, gire el selector de escala y seleccione un rango superior.



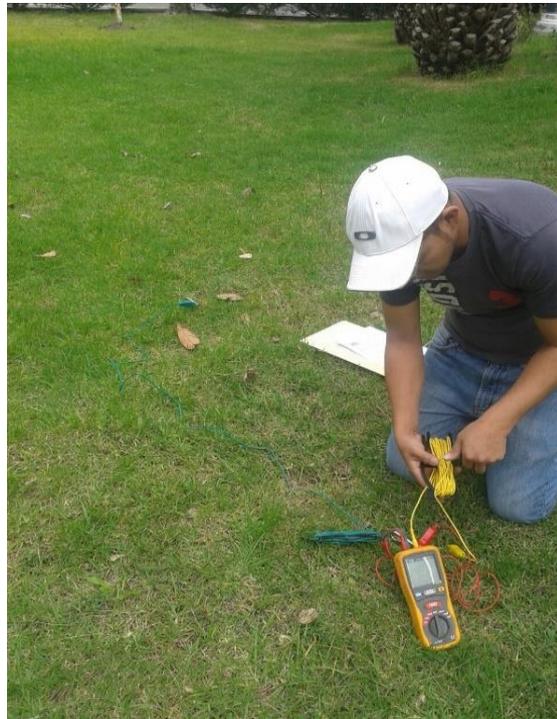
Al presionar la tecla, mientras que el resultado de la medición de p se está visualizando la pantalla cambia como se indica. A continuación, ajuste del intervalo entre las picas de tierra auxiliares (LH) se pueden hacer. Cláusula 6-2-5 describe el procedimiento de configuración detallada.

ANEXO IV: ZONAS DE MEDICIÓN, RESISTIVIDAD DE SUELOS UTN.



Z1: Facultad FACA.E.	Resistividad promedio:	60.765 (Ω-m)
Z2: Facultad FECYT.	Resistividad promedio:	49.366(Ω-m)
Z3: Edificio de Postgrado	Resistividad promedio:	140.533 (Ω-m)
Z4: Piscina Semi-olimpica	Resistividad promedio:	164.501 (Ω-m)
Z5: Edificio FICA	Resistividad promedio:	152.278 (Ω-m)

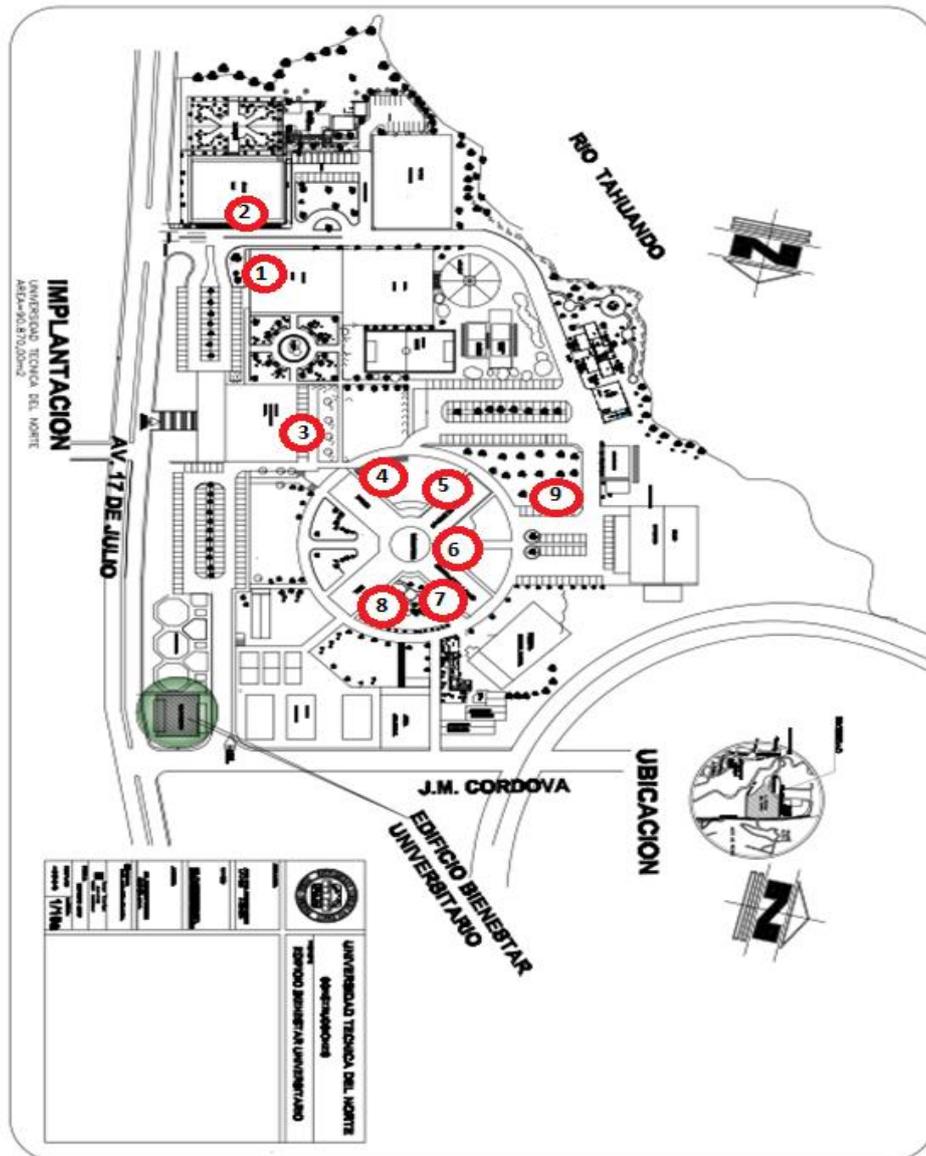
**ANEXO V: REPORTE FOTOGRÁFICO MEDICIONES DE RESISTIVIDAD
CAMPUS UTN.**







ANEXO VI: UBICACIÓN MALLAS CAMPUS UTN.



- 1.- Malla de Facultad FECYT
- 2.- Malla de Facultad FACAE
- 3.- Malla de Edificio Central
- 4.- Malla de Facultad FICAYA
- 5.- Malla de Laboratorios FICA
- 6.- Malla de Facultad CC SS
- 7.- Malla de Facultad CC SS 2
- 8.- Malla de Facultad FICA
- 9.- Malla de Edificio de Postgrado

ANEXO VII: CONSTRUCCIÓN DE MALLAS CAMPUS UTN







ANEXO VIII: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA FECYT



ANEXO IX: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA FACAE



ANEXO X: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA EDIFICIO CENTRA





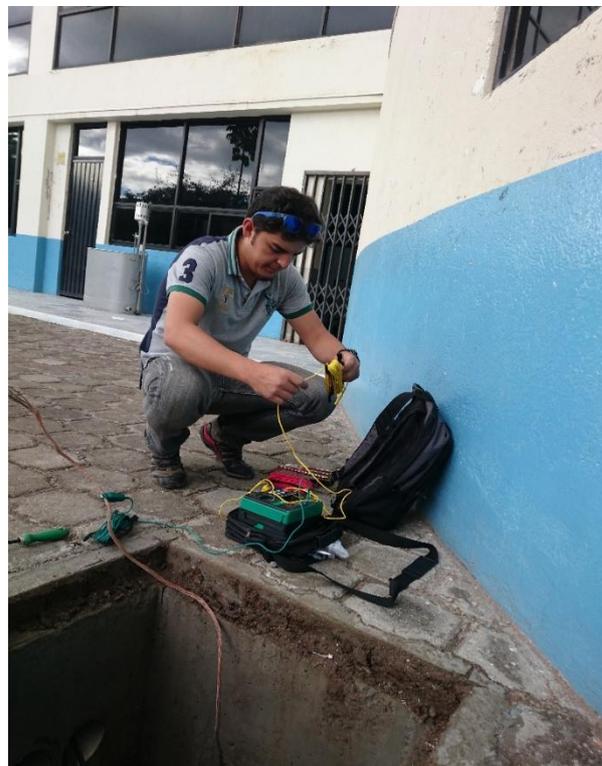
ANEXO XI: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA FICAYA



ANEXO XII: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA LABORATORIOS FICA



**ANEXO XIII: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
CIENCIAS DE LA SALUD**



ANEXO XIV: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA CIENCIAS DE LA SALUD 2



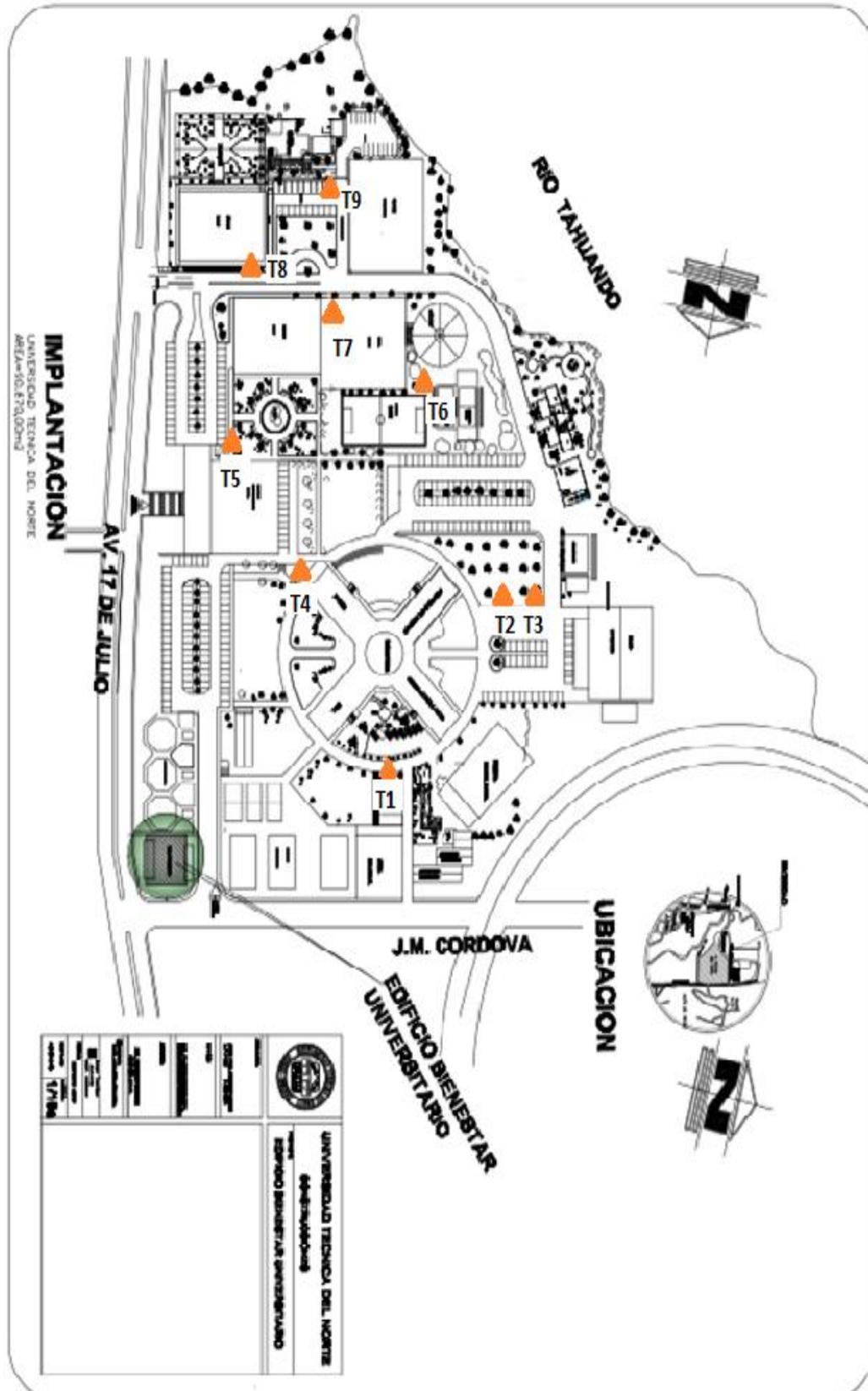
ANEXO XV: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA FICA PARTE TRASERA



ANEXO XVI: MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA ESTRUCTURA TIPO "H"



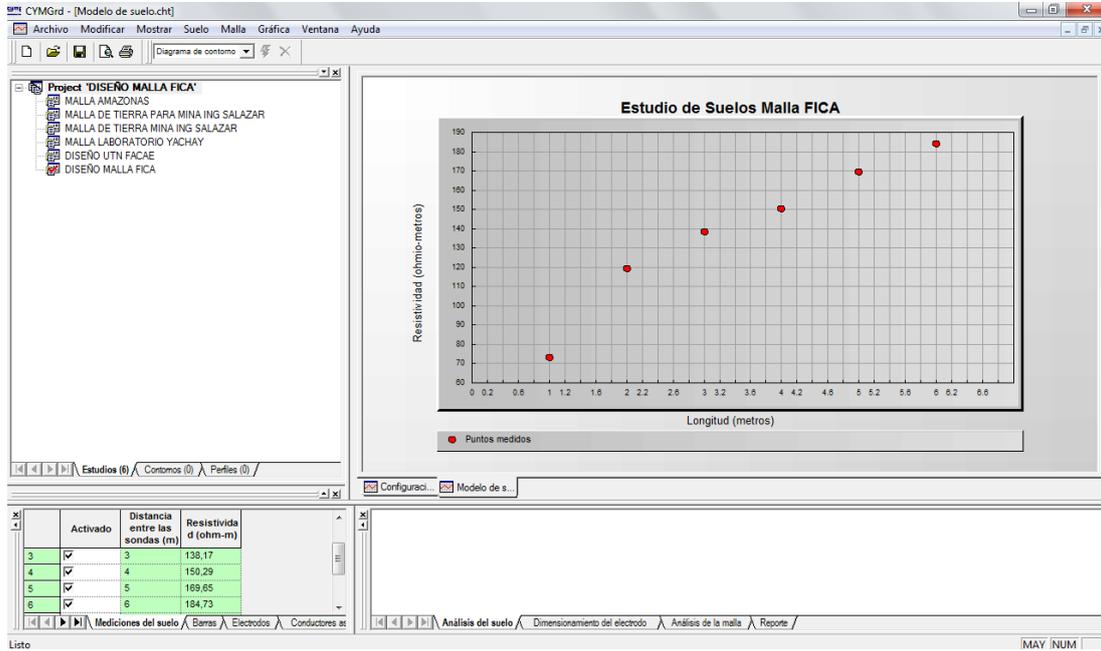
ANEXO XVIII: UBICACIÓN DE TRANSFORMADORES EN EL CAMPUS UTN.



DATOS TECNICOS DE LOS TRANSFORMADORES

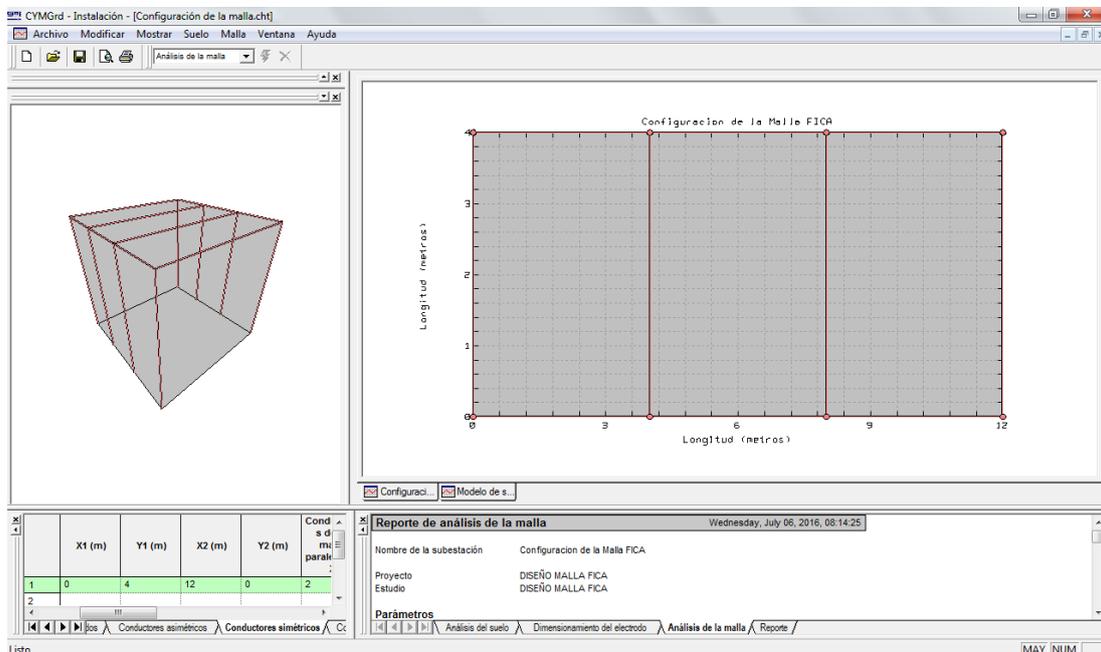
N° TRAFO	FACULTAD ubicación	POT KVA	V primario (V)	V secundario (V)	Icc LLL (A)	Icc LG (A)
1	Imprenta	45	13800	240	1908	1551
2	FICA Edificio	75	13800	240	1946	1588
3	POSTGRADO Edificio	50	13800	240	1959	1600
4	FICAYA Edificio	75	13800	240	2005	1646
5	FECYT copias	75	13800	240	2029	1668
6	Educación Técnica	75	13800	240	2067	1708
7	FECYT Edificio	75	13800	240	2011	1651
8	FACAE Edificio	75	13800	240	1987	1627
9	FACAE Bar	50	13800	240	1947	1615

ANEXO XIX: DISEÑO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA FICA MEDIANTE SOFTWARE DEDICADO.



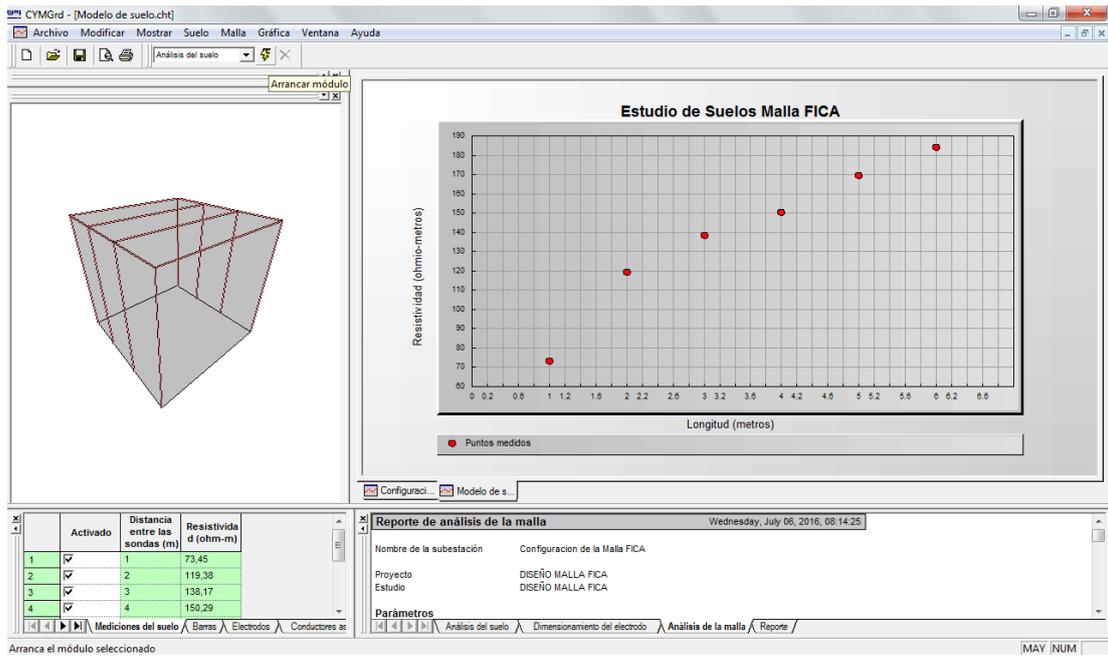
Ingreso de datos de resistividad del suelo

Fuente (autor, 2016)



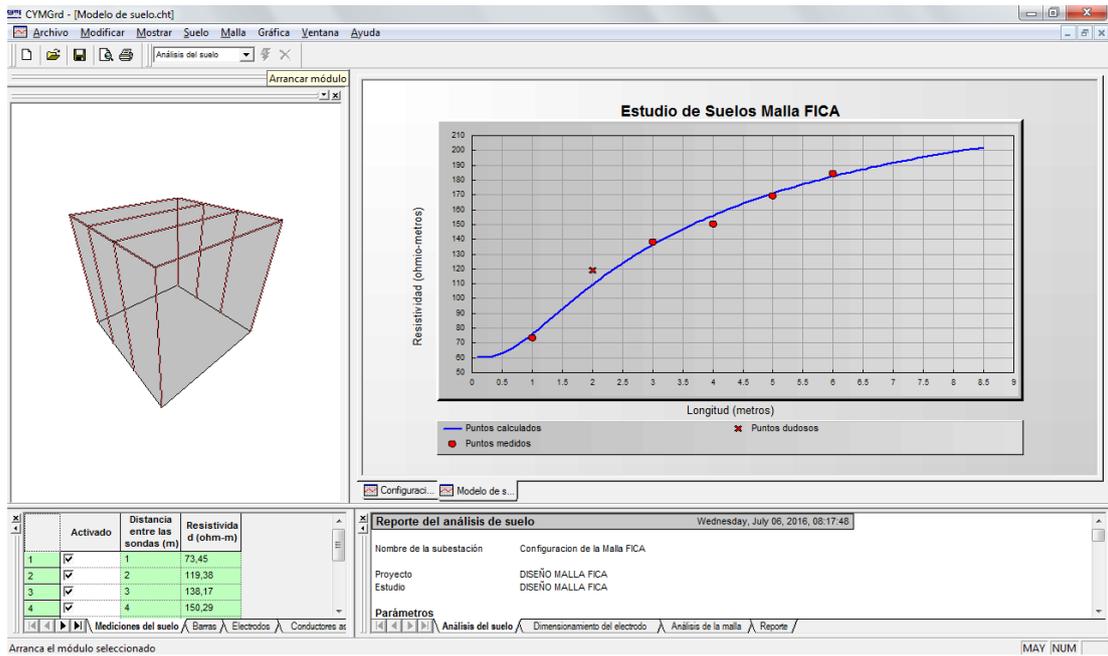
Medidas de longitud en diseño de malla

Fuente (autor, 2016)



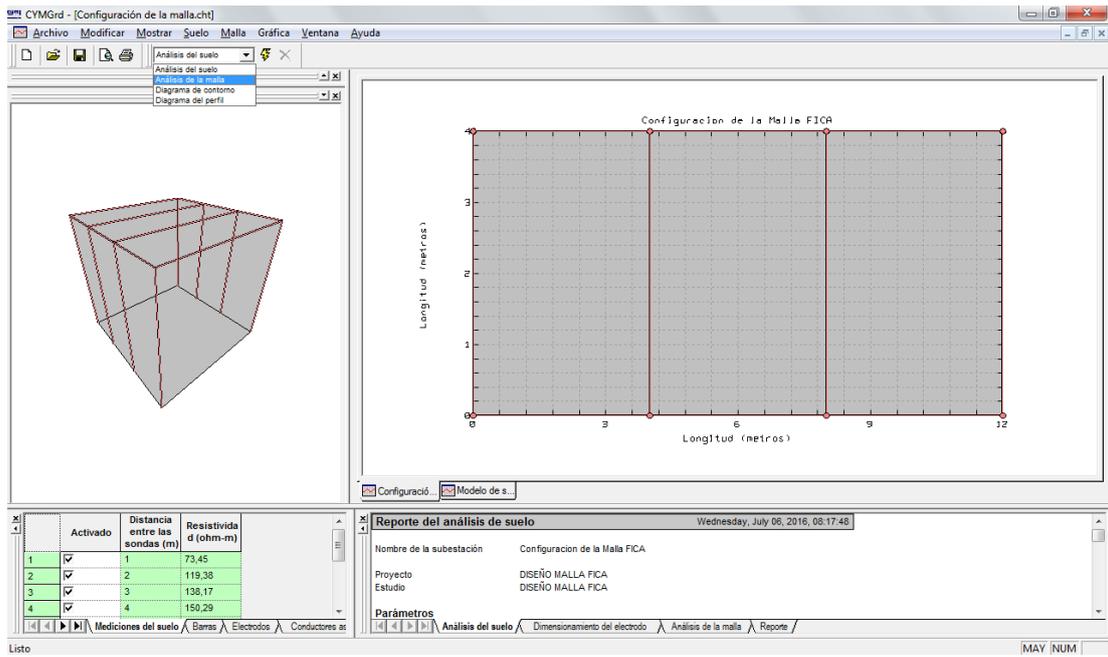
Arranque de simulación

Fuente (autor, 2016)

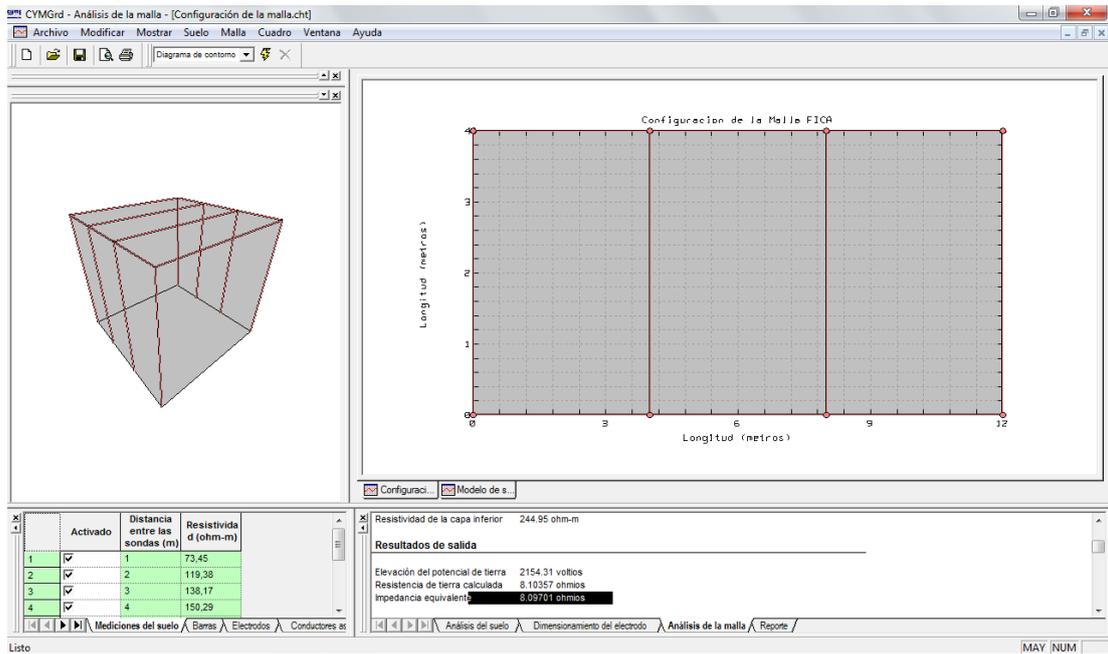


Resultado de la curva de resistividad obtenida

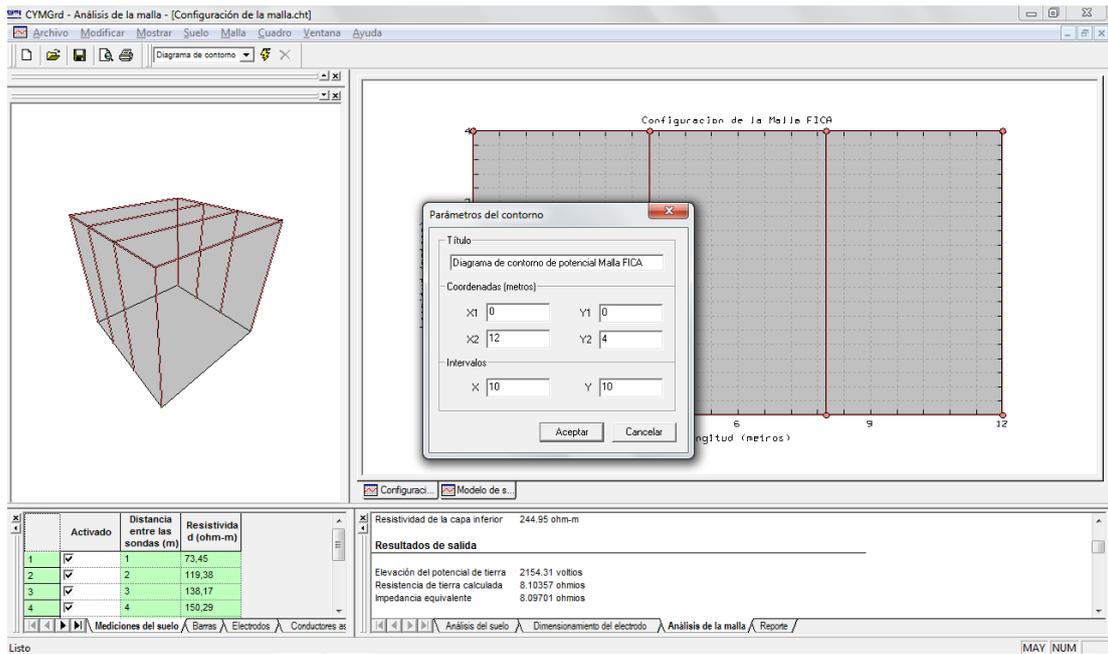
Fuente (autor, 2016)



Análisis de la malla propuesta
 Fuente (autor, 2016)



Valor obtenido de la resistencia del electrodo fabricado
 Fuente (autor, 2016)



Parámetros de contorno de malla

Fuente (autor, 2016)

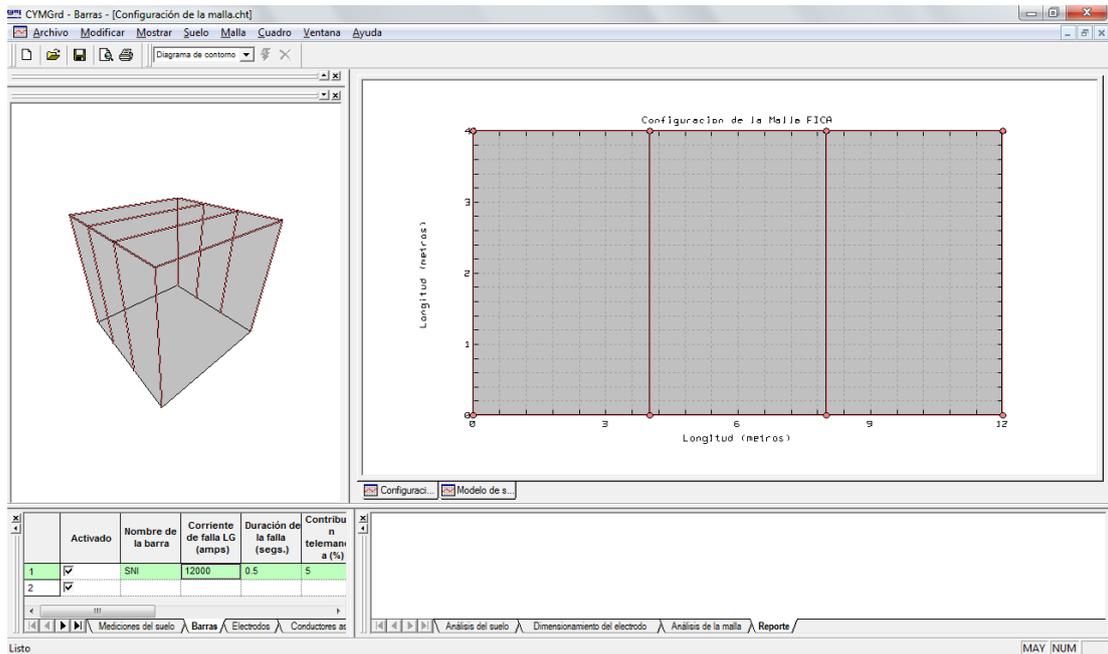
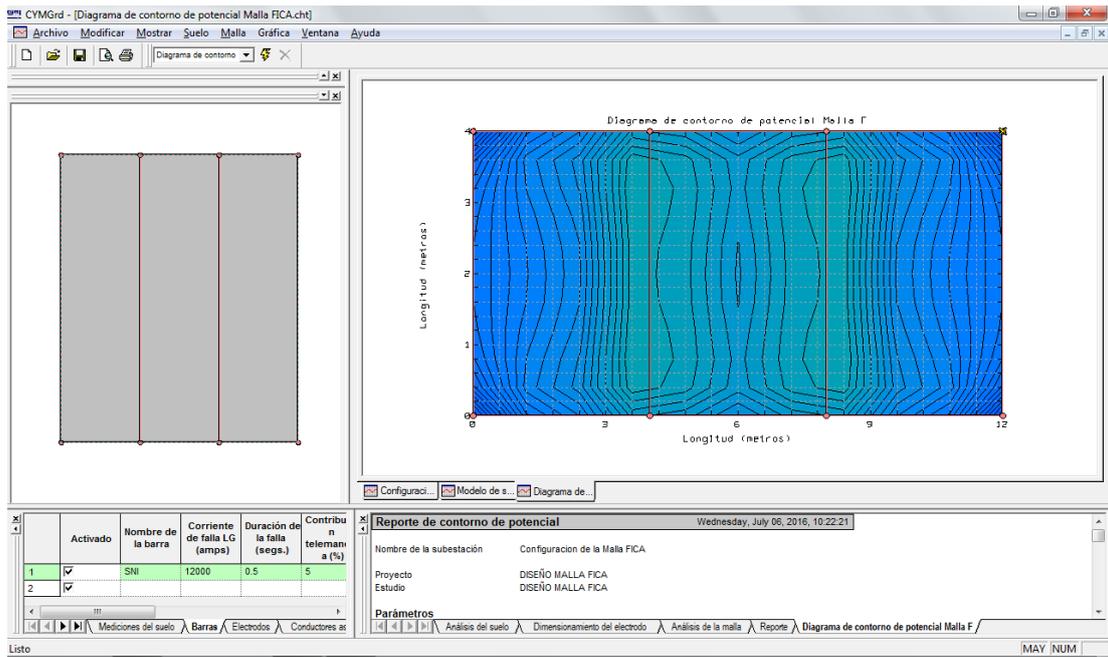


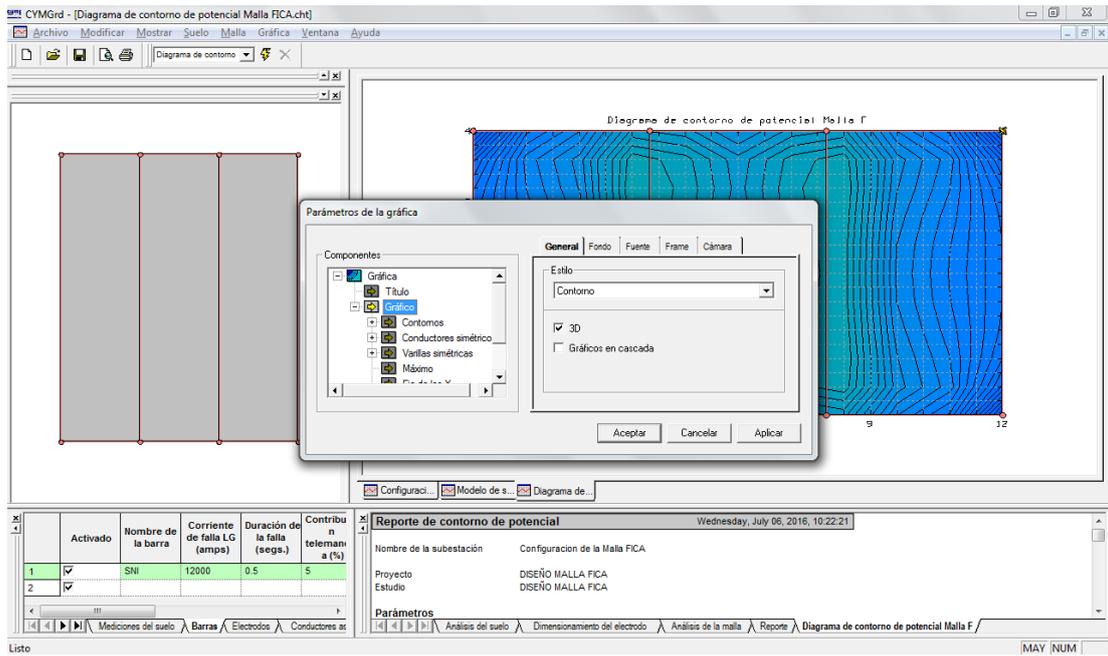
Diagrama de contorno de malla

Fuente (autor, 2016)



Líneas de dispersión de voltaje 2D

Fuente (autor, 2016)



Parámetros 3D voltaje de dispersión

Fuente (autor, 2016)

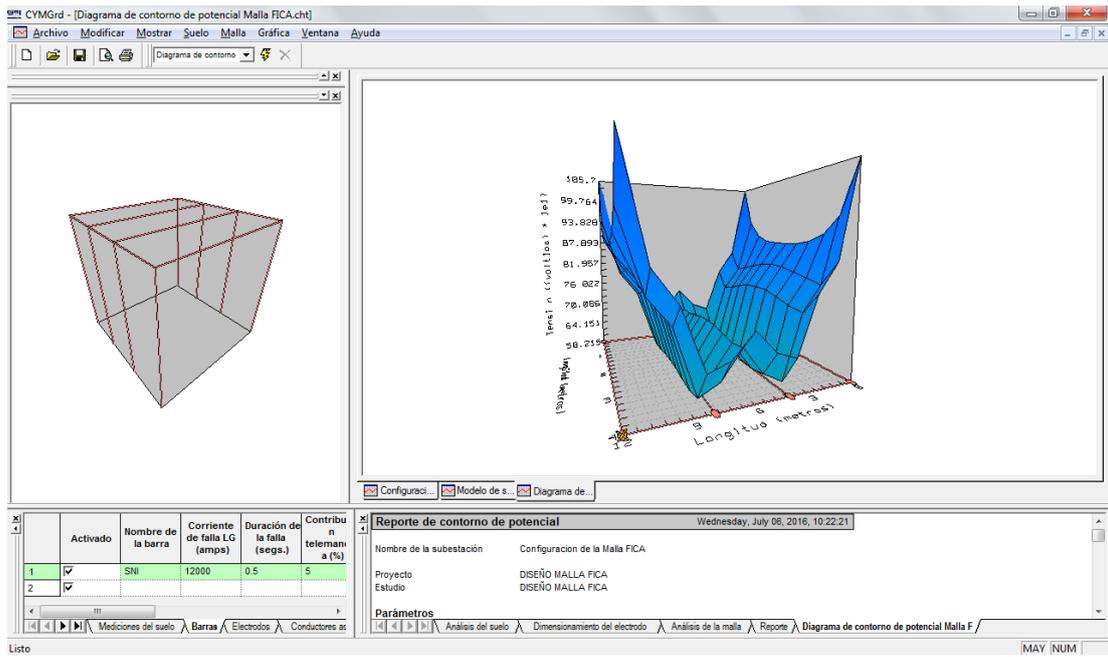
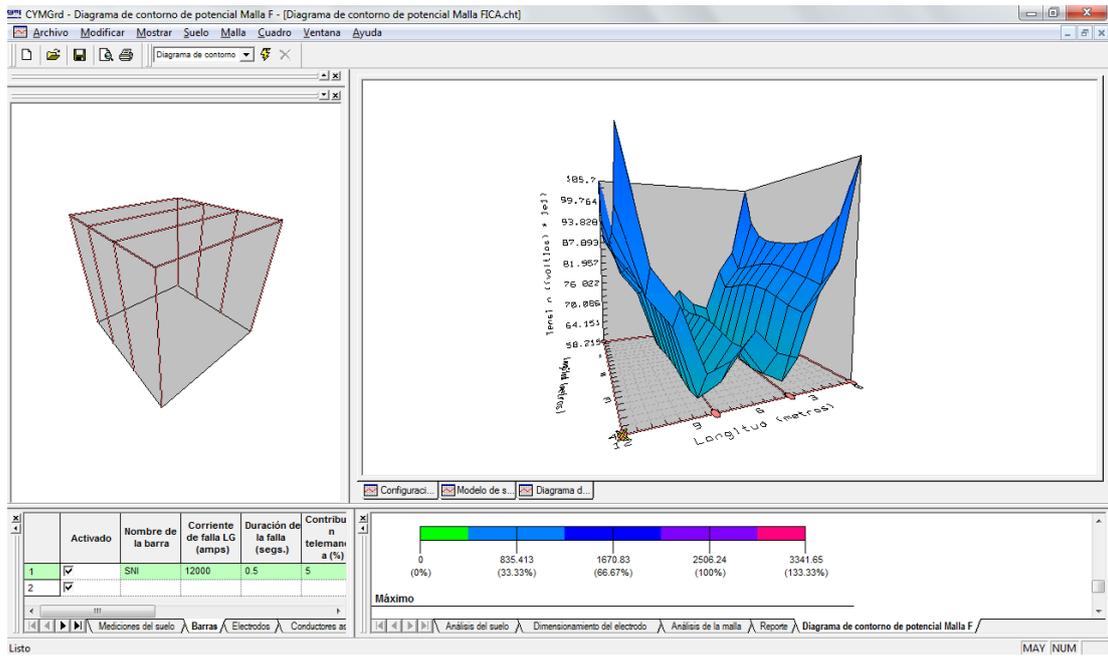
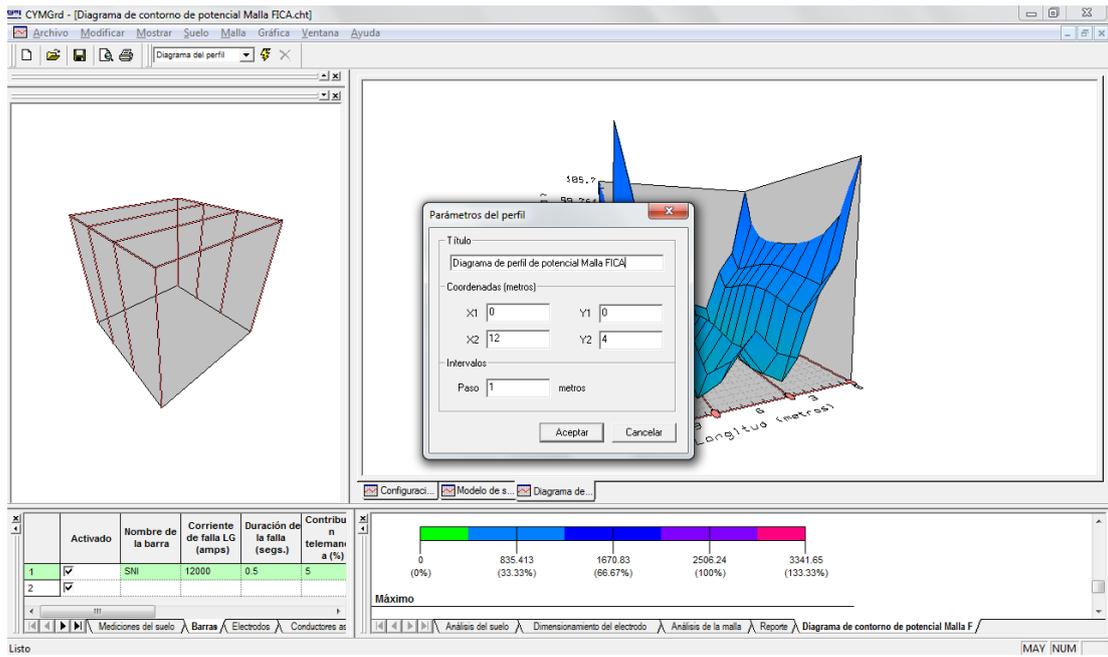


Diagrama 3D líneas de dispersión voltaje
Fuente (autor, 2016)



Color de grafica límites de voltaje
Fuente (autor, 2016)



Parametrización diagrama de perfil de potencial

Fuente (autor, 2016)

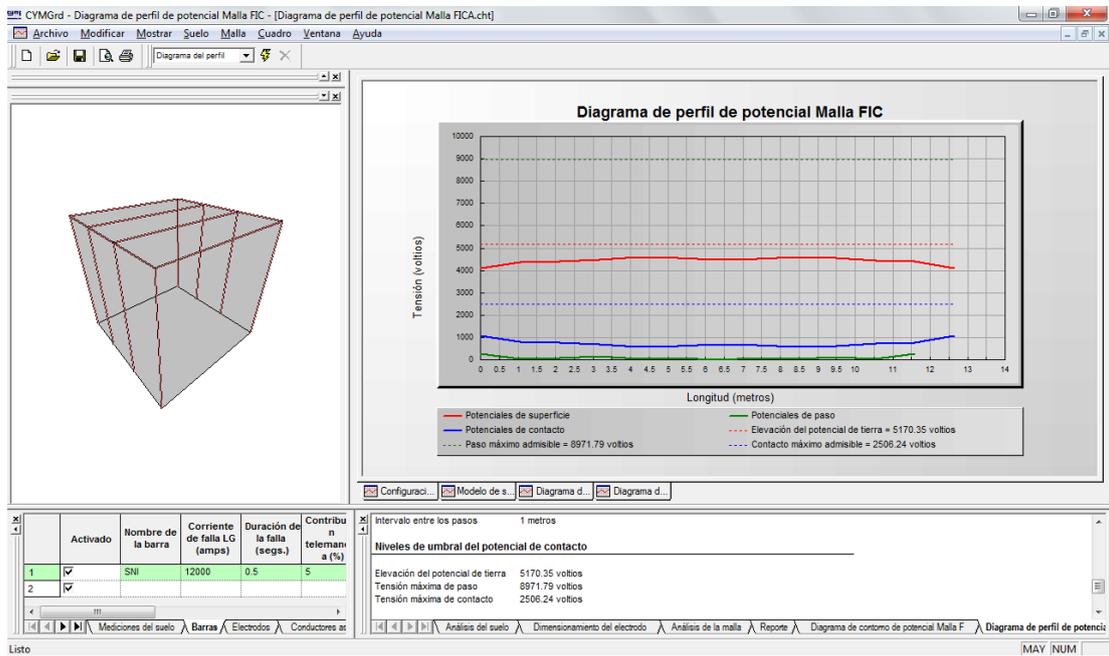
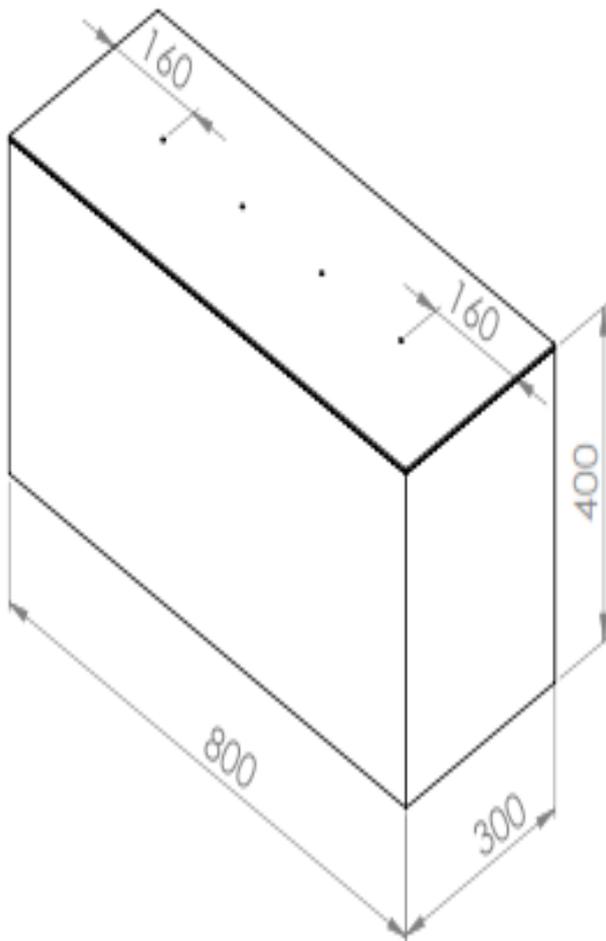
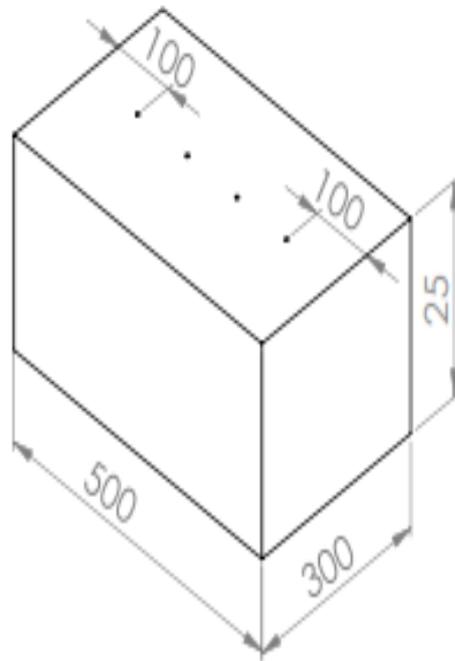
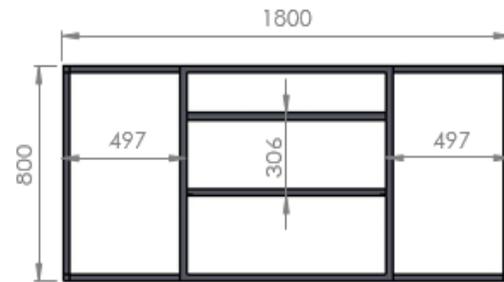
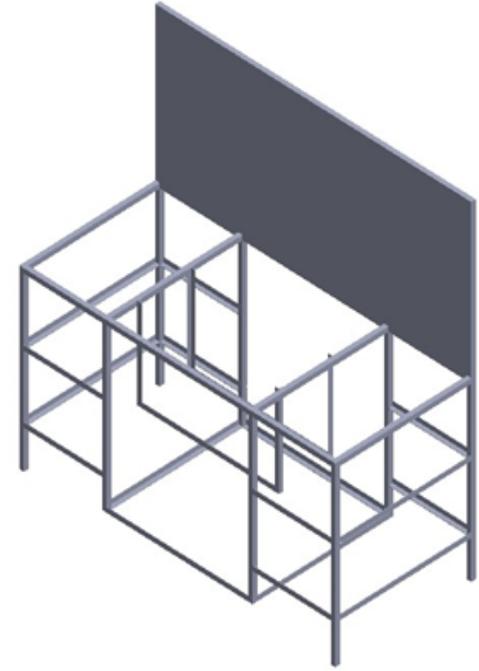
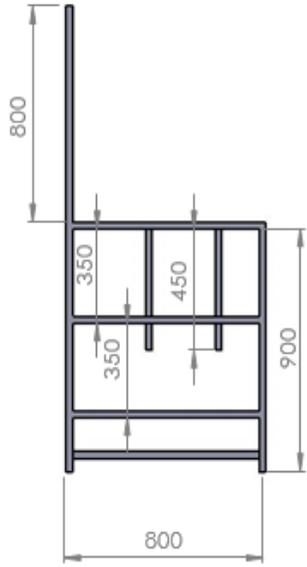


Diagrama de perfil de potencial

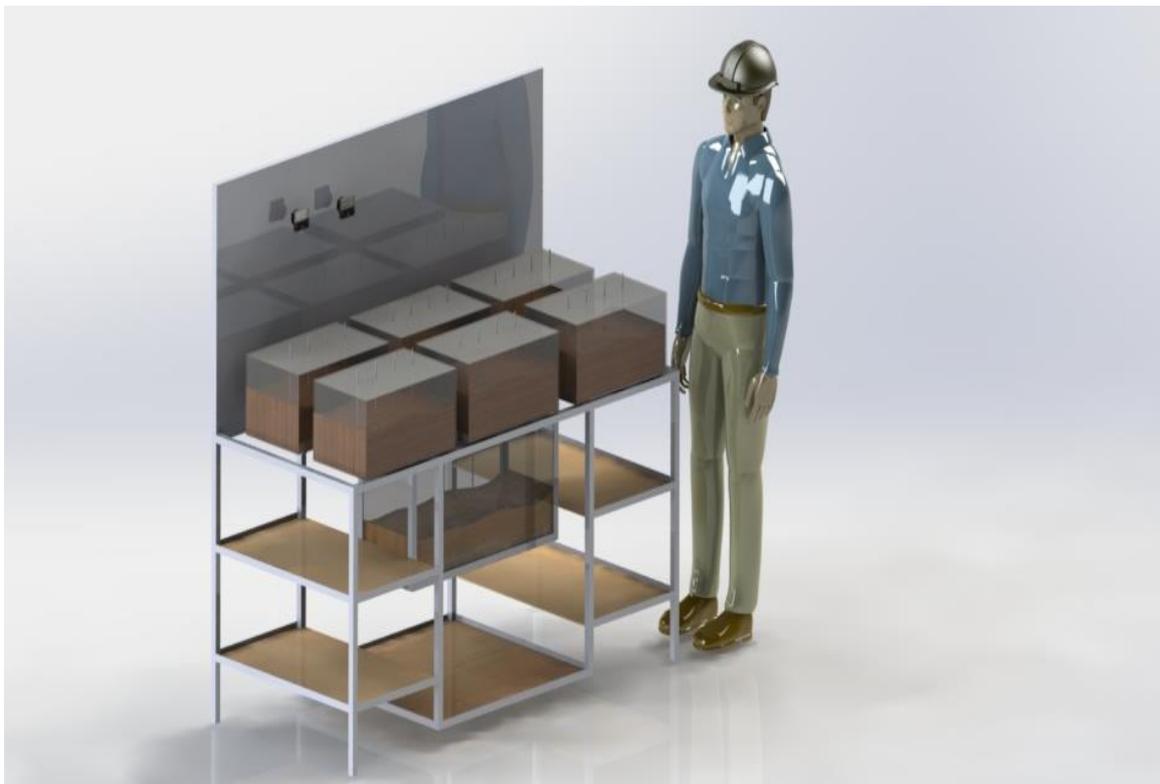
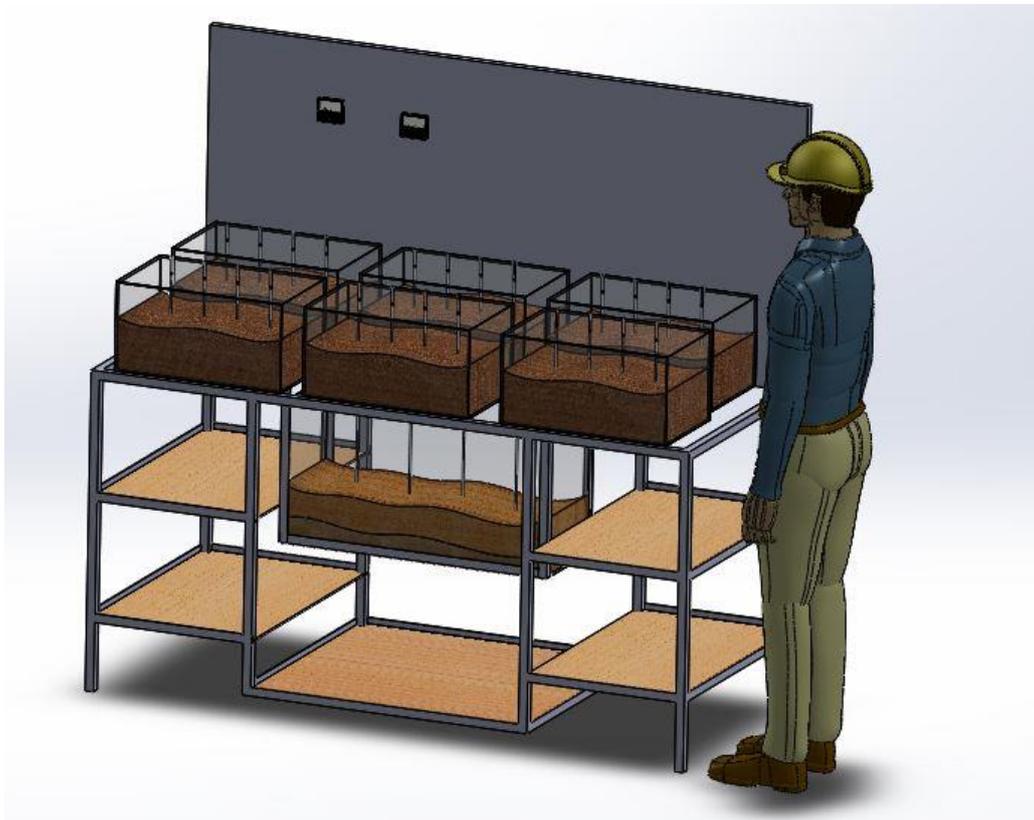
Fuente (autor, 2016)

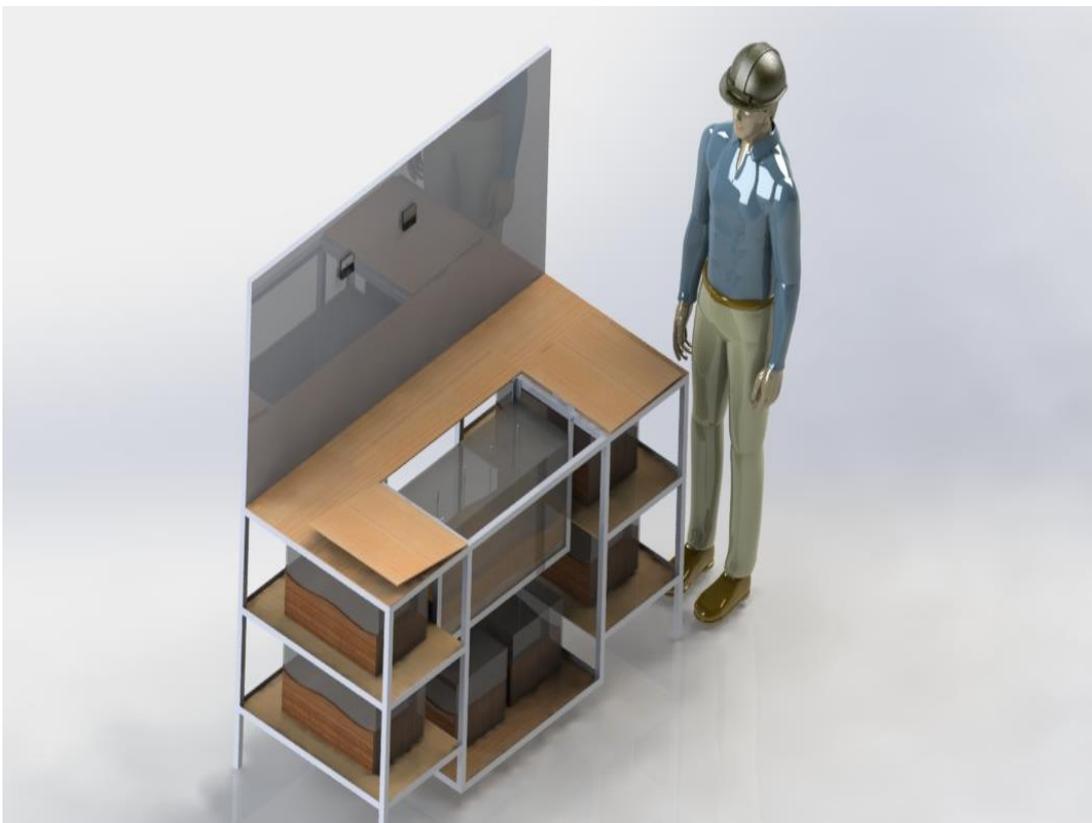
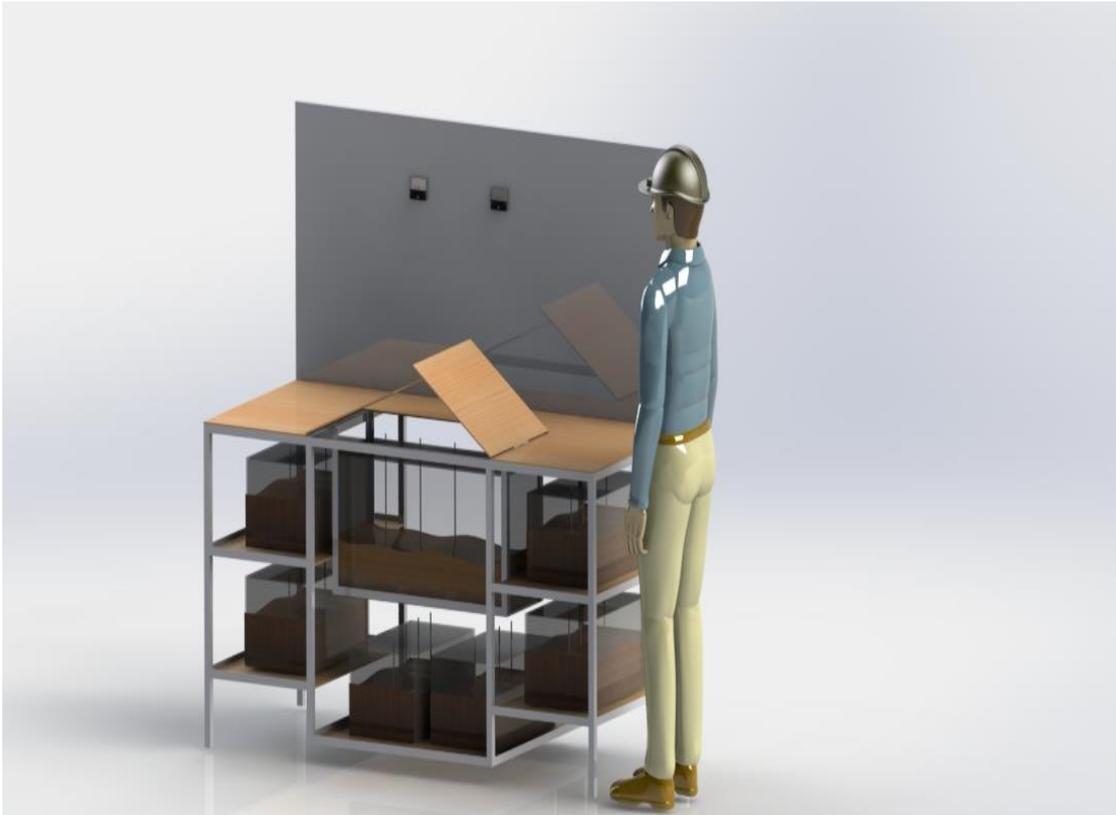
ANEXO XX: DIMENSIONES BANCO DE PRUEBAS Y DISEÑO.

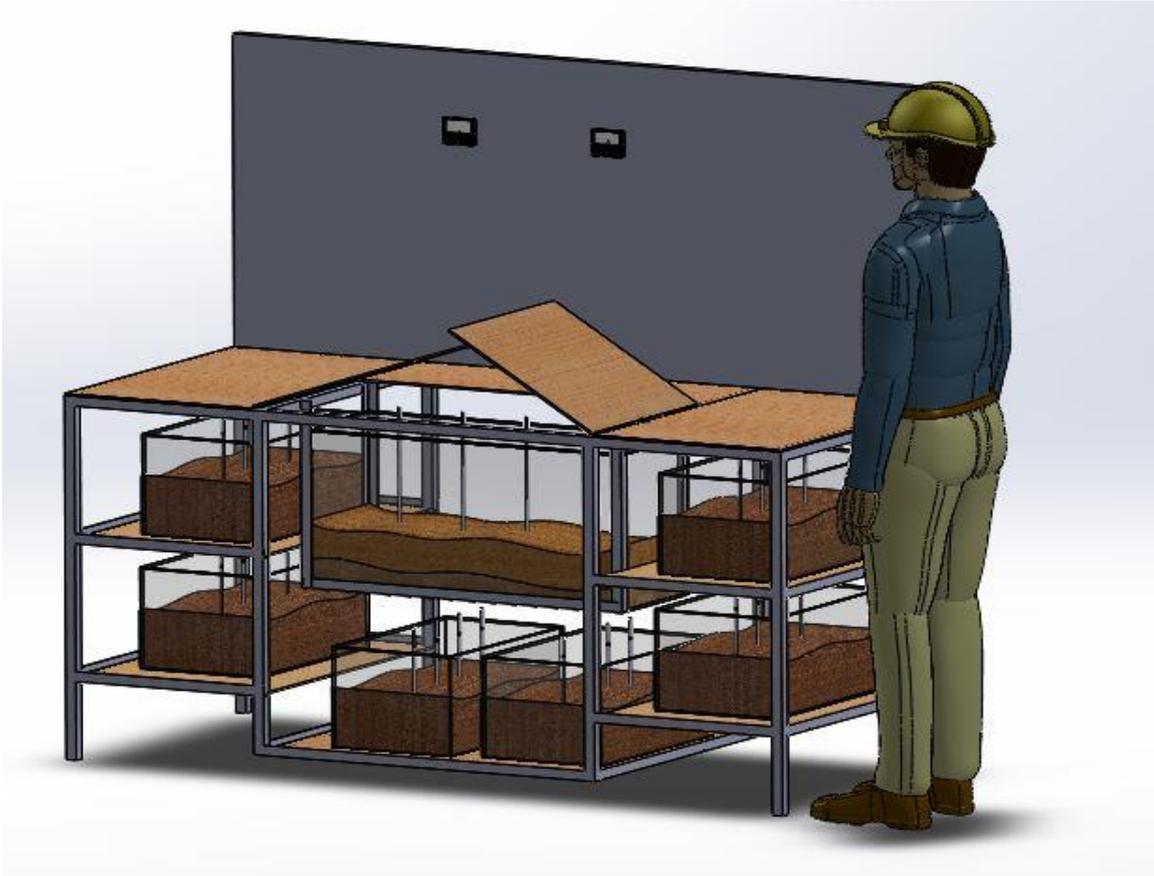




ANEXO XXI: PRACTICAS BANCO DE PRUEBAS.







ANEXO XXI: PRACTICAS BANCO DE PRUEBAS.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO LABORATORIO	
BANCO DE MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO	Fecha: _____ Estudiante: _____

CONTENIDO

OBJETIVOS	178
EQUIPO	178
INFORMACION SOBRE EL EQUIPO	178
Fuente de Corriente	179
Cableado.....	179
MARCO TEORICO.....	180
TRABAJO PREPARATORIO	182
PROCEDIMIENTO	182
INFORME.....	183
CONCLUSIONES.....	183
BIBLIOGRAFIA	184
ANEXO.....	184

<p align="center">UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO LABORATORIO</p>	
<p align="center">BANCO DE MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO</p>	<p>Fecha: _____ Estudiante: _____</p>

PRACTICA # 1

MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD MEDIANTE MUESTRAS DEL SUELO

OBJETIVOS

- Identificar los elementos que forman parte del banco de pruebas de resistividad del suelo, sus funciones, características de cada elemento, rangos y propiedades.
- Conocer la funcionalidad del banco de pruebas, el procedimiento respectivo para poder realizar la medición de la resistividad de los diferentes tipos de suelo por parte del estudiante.

EQUIPO

Banco de medición de la resistividad del suelo.

- Probetas con diferentes tipos de suelo.
- Electrodo
- Fuente de corriente
- Multímetro
- Amperímetro

INFORMACION SOBRE EL EQUIPO

Los diferentes equipos y accesorios del banco de medición requeridos para medir la resistividad del suelo consisten generalmente de una fuente de corriente, un voltímetro, amperímetro, o un galvanómetro, cuatro electrodos tipo varilla y conectores.

<p align="center">UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO LABORATORIO</p>	
<p align="center">BANCO DE MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO</p>	<p>Fecha: _____ Estudiante: _____</p>

Fuente de Corriente

Fuente de corriente AC, la cual inyecta una onda de corriente cuadrada, con una frecuencia diferente a 60Hz. La corriente es suministrada por un generador AC o una fuente en DC, equipada con un oscilador electrónico.

Voltímetro

El voltímetro, dentro de su característica especial es que no tiene una caída apreciable de la corriente para evitar efectos de polarización. La impedancia de entrada del medidor tiene al menos una impedancia de 10 MΩ, es del tipo galvanómetro.

Electrodos

Fabricados de acero estructural de bajo carbón o acero inoxidable tipo martensítico con un diámetro desde 0.5 cm y longitud de 20 cm. Las varillas tienen un tratamiento térmico para que tengan suficiente rigidez, para poder ser hincadas en suelos secos o gravilla. El electrodo es liso. Los electrodos tipo roscado no son recomendados ya que dejan aire atrapado entre la varilla y el suelo, creando una alta resistencia de contacto.

Cableado

El calibre del cable es un 18 AWG de cobre, los terminales de conexión para el cable deberán ser de buena calidad y asegurar una baja resistencia de contacto de acuerdo con lo especificado en la UL-486 B. El aislamiento del cable debe ser para uso pesado, no se debe desgastar contra el roce o abrasión que sufre el cable contra el piso.

<p align="center">UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO LABORATORIO</p>	
<p align="center">BANCO DE MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO</p>	<p>Fecha: _____ Estudiante: _____</p>

MARCO TEORICO

En 1915, el Dr. Frank Wenner del U.S. Bureau of Standards desarrolló la teoría de este método de prueba. Con objeto de medir la resistividad del suelo se hace necesario insertar los 4 electrodos en el suelo.

Los cuatro electrodos se colocan en línea recta y a una misma profundidad de penetración, las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, y por el contrario no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra.

El principio básico de este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos “M” y “N” mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos “X” y “Y”. Estos electrodos están enterrados en línea recta y a igual separación entre ellos. La razón V/I es conocida como la resistencia aparente. La resistividad aparente del terreno es una función de esta resistencia y de la geometría del electrodo (Ruelas, 2015).

El método de los cuatro puntos de Wenner es el método más preciso y popular. Son razones para esto que: el método obtiene la resistividad del suelo para capas profundas sin enterrar los electrodos a dichas profundidades; no es necesario un equipo pesado para realizar las medidas; los resultados no son afectados por la resistencia de los electrodos auxiliares o los huecos creados para hincarlos en el terreno.

El método consiste en enterrar pequeños electrodos tipo varilla, en cuatro huecos en el suelo, a una profundidad “b” y espaciados (en línea recta) una distancia “a” cómo se ilustra en la Figura 1.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO LABORATORIO</p>	
<p style="text-align: center;">BANCO DE MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO</p>	<p>Fecha: _____ Estudiante: _____</p>

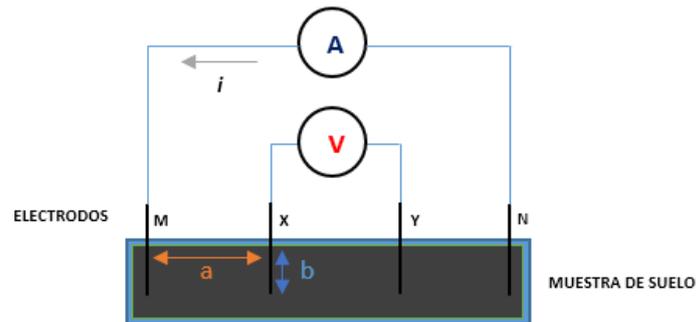


FIGURA 46 Medición de resistividad mediante muestras del suelo

Una corriente “I” se inyecta entre los dos electrodos externos y el potencial “V” entre los dos electrodos internos es medido por el instrumento. El instrumento mide la resistencia $R (=V/I)$ del volumen de suelo cilíndrico de radio “a” encerrado entre los electrodos internos. La resistividad aparente del suelo ρ , a la profundidad “a” es aproximada por la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{4 \pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$$

Donde:

ρ : Resistividad del suelo (Ω m)

R: Resistencia medida (Ω)

a: Distancia entre electrodos (m)

b: Profundidad de los electrodos (m)

<p align="center">UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO LABORATORIO</p>	
<p align="center">BANCO DE MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO</p>	<p>Fecha: _____ Estudiante: _____</p>

TRABAJO PREPARATORIO

Consultar acerca del método de Wenner para la medición de la resistividad del suelo.

- Proceso de medición
- Elementos que forman parte de la medición.
- Ecuación para calcular la resistividad del suelo.
- Revisar la Tabla de datos de mediciones del *ANEXO 1*.

PROCEDIMIENTO

El método consiste en recolectar una muestra representativa del suelo de interés o, en su defecto, de un terreno aledaño con características similares al sitio cuya resistividad se desea conocer.

Esta porción de suelo debe ser recogida a una cierta profundidad en donde el terreno quede más inmune a las variaciones de las condiciones ambientales procurando no alterar las condiciones de compactación y, sobre todo, de humedad de la muestra.

El proceso se basa en la medición de la resistencia de la muestra del suelo que llena un recipiente de dimensiones conocidas. La Figura 1 ilustra la forma elemental del proceso.

<p align="center">UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO LABORATORIO</p>	
<p align="center">BANCO DE MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO</p>	<p>Fecha: _____ Estudiante: _____</p>

INFORME

- OBJETIVOS
- INTRODUCCION
- DESARROLLO DEL LABORATORIO
- RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA

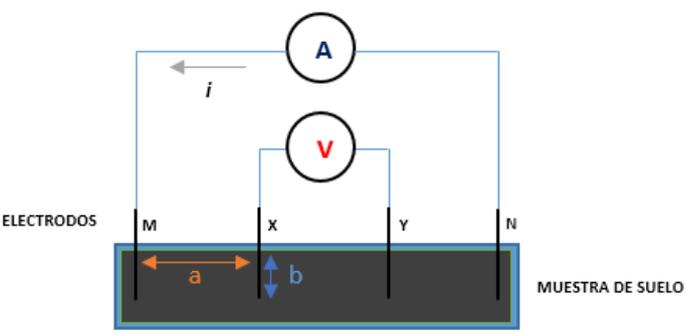
CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

Ruelas R. (2015). Resistividad... TEORIA Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA. Roberto Ruelas. Obtenido de <http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe70.html>

ANEXO

ANEXO 1: Tabla de datos de mediciones **PRACTICA 1**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE		MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO
DATOS		 <p>a : Distancia entre electrodos b : Profundidad de los electrodos A : Fuente de corriente V : Medición de voltaje M,N,X,Y : Electrodo</p>
Fecha de medición:		
Grupo #:		
Observaciones:		

$$\rho = \frac{4 \pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$$

Donde:

ρ : Resistividad del suelo (Ω m)

R: Resistencia medida (Ω)

a: Distancia entre electrodos (m)

b: Profundidad de los electrodos (m)

Tipo de suelo	Distancia entre electrodos (a)	Profundidad (b)	Corriente de prueba (A)	Voltaje medido (V)	Resistencia (Ω)	Resistividad (Ω m)

<p align="center">UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO LABORATORIO</p>	
<p align="center">MEDICIÓN DE UN SISTEMA A TIERRA CON EL EQUIPO (DY4300B)</p>	<p>Fecha: _____ Estudiante: _____</p>

CONTENIDO

OBJETIVOS	187
EQUIPO	187
INFORMACION SOBRE EL EQUIPO	187
MARCO TEORICO	189
Método de caída de potencial	189
TRABAJO PREPARATORIO	190
PROCEDIMIENTO	190
INFORME	191
CONCLUSIONES	192
BIBLIOGRAFIA	192

<p align="center">UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO LABORATORIO</p>	
<p align="center">MEDICIÓN DE UN SISTEMA A TIERRA CON EL EQUIPO (DY4300B)</p>	<p>Fecha: _____ Estudiante: _____</p>

PRACTICA # 3

MEDICIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

OBJETIVOS

- Conocer el funcionamiento del medidor de resistividad DY4300B, el procedimiento respectivo para poder realizar la medición de la resistividad de los diferentes tipos de suelo.
- Identificar los elementos que forman parte del equipo de medición de resistividad del suelo, sus funciones, características de cada elemento y propiedades.
- Realizar lecturas de resistencia en los diferentes sistemas de puesta a tierra reales.

EQUIPO

- Equipo de medición de resistividad DY4300B.
- 4 electrodos, cables de conexión.

INFORMACION SOBRE EL EQUIPO

DY4300 es un medidor digital de la Resistencia y resistividad de la tierra de 3 y 4 hilos, equipado con un microprocesador y puede medir resistencias de tierra y calcular resistividades de tierra.

<p align="center">UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO LABORATORIO</p>	
<p align="center">MEDICIÓN DE UN SISTEMA A TIERRA CON EL EQUIPO (DY4300B)</p>	<p>Fecha: _____ Estudiante: _____</p>

Diseñado para satisfacer las siguientes normas de seguridad

- IEC 61010-1 (CAT.III 300V, 150V CAT.IV, grado de contaminación 2)
- IEC 61010-031 (Requisitos para sondas de mano)
- IEC 61557-1, 5 (Tierra probador de la resistencia)

Cuanta con la tecnología de FFT (Fast Fourier Transform) para realizar las mediciones en entornos ruidosos.

- Matriz de puntos 192x64, LCD monocromático.
- Luz de fondo para ver los resultados de las pruebas en áreas con poca visibilidad.
- Función Rk para cancelar la resistencia residual sobre los cables de prueba.
- Las advertencias se visualizan en la pantalla LCD cuando resistencias de tierra auxiliares son demasiado altos y pueden dar lugar a mediciones inexactas
- Auto-Función de apagado, el instrumento se apaga automáticamente cuando pasa 5 minutos sin ningún tipo de operación de teclas.
- Almacenamiento de 1000 datos de prueba.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO LABORATORIO</p>	
<p style="text-align: center;">MEDICIÓN DE UN SISTEMA A TIERRA CON EL EQUIPO (DY4300B)</p>	<p>Fecha: _____ Estudiante: _____</p>

MARCO TEORICO

Método de caída de potencial

El método de la caída de potencial se emplea para medir la capacidad que tiene un sistema de conexión a tierra o un electrodo individual de disipar energía de una instalación.

Este instrumento hace que la medición de resistencia de tierra con el método de caída de potencial, que es un método para obtener valor de la resistencia de tierra R_x mediante la aplicación de corriente constante AC "I", entre el objeto de medición E (toma de tierra) y H(C) (electrodo de corriente), y encontrar la diferencia de potencial "V" entre e (electrodo de tierra) y S (P) (potencial de electrodo).

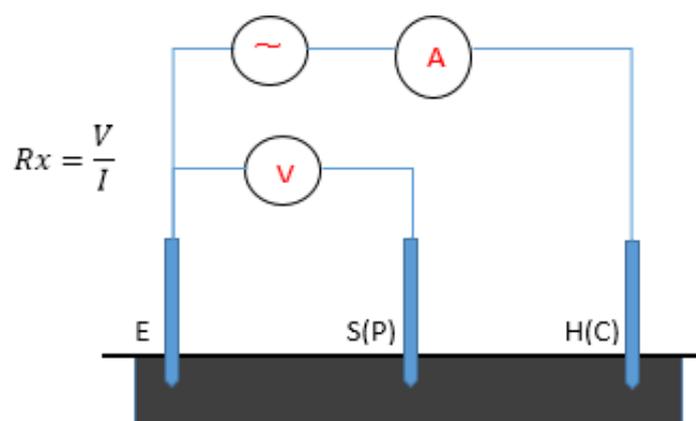


FIGURA 47 Método de medición de caída de potencial

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO LABORATORIO</p>	
<p style="text-align: center;">MEDICIÓN DE UN SISTEMA A TIERRA CON EL EQUIPO (DY4300B)</p>	<p>Fecha: _____ Estudiante: _____</p>

TRABAJO PREPARATORIO

Consultar acerca del método de caída de potencial para la medición de la resistividad de sistemas puesta a tierra.

- Proceso de medición con el equipo DY4300B.
- Elementos que forman parte de la medición.
- Revisar el manual de usuario del equipo DY4300B.
- Revisar la Tabla de datos de mediciones del ANEXO 1.

PROCEDIMIENTO

El método consiste en recolectar una muestra representativa del área de interés o, en su defecto, de un terreno aledaño con características similares al sitio cuya resistividad se desea conocer.

Esta porción de suelo debe ser recogida a una cierta profundidad en donde el terreno quede más inmune a las variaciones de las condiciones ambientales procurando no alterar las condiciones de compactación y, sobre todo, de humedad de la muestra.

El proceso se basa en la medición de la resistencia de la muestra del suelo que llena un recipiente de dimensiones conocidas. La Figura 1 ilustra la forma elemental del proceso.

En primer lugar, se debe desconectar el electrodo de tierra en cuestión, de su conexión a la instalación. En segundo lugar, se conecta el comprobador al electrodo de tierra. A continuación, para realizar la comprobación por el método de caída de potencial de 3 hilos, se colocan dos picas en el terreno en línea recta alejadas del electrodo de tierra. Habitualmente, una separación de 20 metros es suficiente.

<p align="center">UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO LABORATORIO</p>	
<p align="center">MEDICIÓN DE UN SISTEMA A TIERRA CON EL EQUIPO (DY4300B)</p>	<p>Fecha: _____ Estudiante: _____</p>

El equipo genera una corriente conocida entre la pica exterior (pica auxiliar) “H(C)” y el electrodo de tierra “E” y, mide, de forma simultánea, la caída de potencial entre la pica interior “S (P)” y el electrodo de tierra “E”. Mediante la Ley de Ohm ($V = IR$), el medidor calcula de forma automática la resistencia del electrodo de tierra.

Conecte el comprobador de resistencia de tierra tal y como se muestra en la Figura 1. Pulse TEST y lea el valor de R_e (resistencia).

Ése es el valor real del electrodo de conexión a tierra que se está comprobando. Si este electrodo de conexión a tierra está conectado en paralelo o en serie con otras varillas de toma de tierra, el valor de R_E es el valor total de todas las resistencias.

INFORME

- OBJETIVOS
- INTRODUCCIÓN
- DESARROLLO DEL LABORATORIO
- RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA

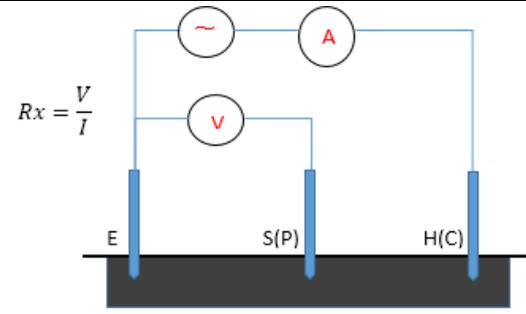
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO LABORATORIO	
MEDICIÓN DE UN SISTEMA A TIERRA CON EL EQUIPO (DY4300B)	Fecha: _____ Estudiante: _____

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

FLUKE. (2015). Método de la caída de potencial | Fluke. Retrieved from <http://www.fluke.com/fluke/boes/soluciones/resistencia-de-tierra/M%C3%A9todo-de-la-caída-de-potencial.htm>

ANEXO 3: Tabla de datos de mediciones PRACTICA 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE ELECTRODO
DATOS	
Fecha de medición:	
Grupo #:	
Observaciones:	

_____	A : Fuente de corriente V : Medición de voltaje E: Electrodo a medir S, H : electrodos auxiliares



DY4300B

FIGURA 48 Equipo de medición

Tipo de suelo	Distancia entre electrodos (a)	Resistencia Re (Ω)