



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA ELECTROMECAÁNICA

**“DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL
SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EXISTENTE EN EL
LABORATORIOS DEL CENTRO DE METROLOGÍA DEL
EJÉRCITO ECUATORIANO”**

PILLAJO PILLAJO GONZALO JAIME

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL GRADO DE:**

TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA

LATACUNGA - 2013

Latacunga, Agosto del 2013

Pillajo Pillajo Gonzalo Jaime

CBOP. DE E

Ing. Wilson Sánchez

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTROMECAÁNICA

Dr. Rodrigo Vaca Corrales

SECRETARIO ACADÉMICO

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **PILLAJO PILLAJO GONZALO JAIME**

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “Diagnóstico y Propuesta de Mejoramiento del Sistema de Puesta a Tierra existente en el Laboratorios del Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

En tal virtud, declaramos la autenticidad de este contenido y para los efectos legales y académicos que se desprende del presente proyecto de grado, es y será de mi autoría, responsabilidad legal y académica.

Latacunga, Agosto del 2013

Pillajo P. Gonzalo J.

CI. 171523694-7

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **PILLAJO PILLAJO GONZALO JAIME**

AUTORIZO:

A la Escuela Politécnica del Ejército, la publicación en la Biblioteca Virtual y/o revistas de la Institución de mi proyecto de tesis “Diagnóstico y Propuesta de Mejoramiento del Sistema de Puesta a Tierra existente en el Laboratorios del Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Agosto del 2013.

Pillajo P. Gonzalo J.

CI. 171523694-7

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICADO

ING. MARIO JIMÉNEZ (DIRECTOR)

ING. WASHINGTON FREIRE (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “Diagnóstico y Propuesta de Mejoramiento del Sistema de Puesta a Tierra existente en el Laboratorios del Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano”, fue realizado en su totalidad por el señor: PIILAJO PIILAJO GONZALO JAIME como requisito para la obtención del título de Tecnología en Electromecánica, el mismo que ha sido realizado bajo nuestra supervisión y cumple normas estatutarias establecidas en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, **SI** recomiendan su publicación.

El mencionado proyecto consta de un empastado y un disco compacto el mismo que contiene los archivos en formato portátil de todo el trabajo. Autorizan al señor PIILAJO PIILAJO GONZALO JAIME que lo entregue al ING. WILSON SANCHEZ, en su calidad de Director de Carrera.

Latacunga, Agosto del 2013

Ing. Mario Jiménez

DIRECTOR

Ing. Washington Freire

CODIRECTOR

DEDICATORIA

Dios ha sido mi primordial inspiración en todas las cosas, y ahora no será la excepción, así que principalmente se lo dedico a él, porque gracias a él me encuentro en donde estoy.

Como una muestra de mi cariño y agradecimiento, por todo el amor y el apoyo brindado, también porque hoy veo llegar a su fin una de las metas de mi vida, le agradezco la orientación que siempre me han otorgado. Gracias. Por todo esto se los dedico A mis padres.

Por su gran apoyo incondicional en los momentos débiles de mi vida, a mis Hermanas y a mi Hermano como muestra de que todo se puede conseguir, si tenemos voluntad para luchar por nuestros sueños.

Este trabajo también se lo dedico a todas las personas que pasaron por mi vida brindándome todo su apoyo, hasta ir construyendo e ir formando conmigo una persona con valores y principios morales y a todas las personas que a pesar de los fracasos tiene la fuerza para seguir adelante y no desmayar en sus sueños. Todo es posible solo se necesita dedicación y decir ¡SI PUEDO!

A mis Maestros y Maestras que pusieron todo su empeño en poner su granito de arena para darme una excelente formación académica y como no nombrar a los Maestros que tuve en mi formación como Alumno del Ilustre I.T.S. CENTRAL TÉCNICO.

Jaime Pillajo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la Vida y todo lo primordial para llegar hasta este instante de tiempo y recordar el cómo llegue hasta aquí. Con la mayor gratitud por los esfuerzos realizados para que yo lograra terminar mi carrera profesional.

A mi madre que es el ser más maravilloso de todo el mundo, gracias por el apoyo moral, tu cariño y comprensión que desde niño me has brindado, por guiar mi camino y estar junto a mí en los momentos más difíciles.

A mi padre porque desde pequeño ha sido para mí un hombre maravilloso, el ejemplo para mí a seguir, al que siempre he admirado mucho.

A mis abuelos por ese apoyo en los momentos menos oportunos, estuvieron presentes como un ángel de guarda.

Porque gracias a su cariño, apoyo y confianza he llegado a realizar dos de mis más grandes metas en la vida.

La culminación de mi carrera profesional y el hacerlos sentirse orgullosos de esta persona que tanto los ama.

Gracias por guiar mi vida con energía, esto ha hecho que sea lo que soy!

Con amor, admiración y respeto para mis Padres.

Jaime Pillajo

RESUMEN

Una puesta a tierra es un conjunto de electrodos que proporcionan un contacto eléctrico conductivo entre el medio en que se encuentran inmersos, ya sean instalaciones, equipos, estructuras metálicas, etc. Que están ubicados fuera de los mismos.

Los sistemas de puesta a tierra, son parte fundamental para el buen funcionamiento los elementos eléctricos, sobre todo para la seguridad de las personas y equipos.

A pesar de existir normas donde se especifican la correcta instalación, utilización y mantenimiento no se acostumbra su utilización tras la falsa creencia que la puesta a tierra es sencilla y no merece darle una importancia mayor.

El presente trata de investigar los sistemas de puesta a tierra en equipos eléctricos y electrónicos, tratando así de dejar constancia tras una evaluación en base a normas nacionales e internacionales del estado actual del sistema existente en el Laboratorio del Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano.

Además el presente documento consta de un estudio de resistividad del terreno, parámetro importante para diseños de sistemas de puesta a tierra, y de los equipos y métodos utilizados para realizar las respectivas mediciones.

Se tomara como referencia estándares nacionales e internacionales, para elaborar una propuesta de mejoramiento del sistema de puesta a tierra ubicado en el Laboratorio del Centro de Metrología.

ABSTRACT

A grounding is a set of electrodes that provide electrical contact between the conductive medium in which they are immersed, whether plant, equipment, steel structures, etc. They are located outside thereof.

The grounding systems, are fundamental to the proper functioning electrical items, especially for the safety of persons and equipment.

Although standards exist which specify the proper installation, use and maintenance is not customary to use after the false belief that grounding is simple and does not deserve to give greater importance.

This is to investigate the grounding systems in electrical and electronic equipment, thus trying to record following an assessment based on national and international standards of the current state of the existing system at the Laboratory of Metrology Center Ecuadorian Army.

Furthermore, this paper consists of a study of soil resistivity, important parameter designs grounding systems, and equipment and methods used to perform the respective measurements.

Reference is taken as national and international standards, to develop a proposal to improve the grounding system located in the laboratory of Metrology Center.

INDICE DE CONTENIDOS

FIRMAS	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICADO	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
INDICE DE CONTENIDOS	ix
INDICE DE FIGURAS	xiii
INDICE DE TABLAS	xv
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
OBJETIVOS	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
ALCANCE	3
JUSTIFICACIÓN	3
CAPITULO I	5
INSTALACIÓN DE PUESTAS A TIERRA (SPT)	5
1.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS LABORATORIOS DE METROLOGÍA.....	5
1.1.1 MISIÓN.	5
1.1.2 VISIÓN.....	5
1.1.3 INFRAESTRUCTURA Y ACTIVIDADES.....	5
1.1.4 CAPACIDADES DE LOS LABORATORIOS	6
1.1.5 APLICACIONES.....	7
1.1.5.1 EMPRESAS PÚBLICAS Y PRIVADAS A LAS CUALES PRESTA SERVICIO.....	7

1.1.5.1	FUERZAS ARMADAS.....	8
1.2	TIPOS DE SPT.	8
1.2.1	SISTEMA DE VARILLA "COOPER WELL".....	9
1.2.2	SISTEMA DE PLANCHA	11
1.2.3	SISTEMA DE RED O MALLA	13
1.2.3.1	VOLTAJES PRESENTES EN MALLAS DE TIERRA	14
1.2.4	SISTEMA DE DISCO	16
1.2.5	SISTEMA DE ESFERA.	17
1.2.6	JAULA DE FARADAY.	18
1.2.7	PUESTA A TIERRA PARA SISTEMAS ELÉCTRICOS.	19
1.2.8	PUESTA A TIERRA DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS.	20
1.2.9	PUESTA A TIERRA EN SEÑALES ELECTRÓNICAS.	21
1.2.10	PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN ELECTRÓNICA.	21
1.2.11	PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN ATMOSFÉRICA.....	22
1.2.12	PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN ELECTROSTÁTICA.	23
1.3	REQUISITOS GENERALES DE SPT.....	23
1.4	MATERIALES DE SPT.	26
1.4.1	CONDUCTOR DE ELECTRODO DE SPT O CONDUCTOR DE TIERRA. ..	26
1.4.2	CONDUCTORES DE PROTECCIÓN O DE SPT DE EQUIPOS.....	28
1.5	VALORES DE RESISTENCIA DE SPT.	29
1.5.1	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.	32
1.6	MEDICIONES.	33
1.6.1	MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD APARENTE.	33
1.6.2	MEDICIONES DE RESISTENCIA DE SPT.	34
1.6.3	MEDICIONES DE TENSIÓN DE PASO O DE CONTACTO.	35
1.7	NORMAS Y ESTÁNDARES PARA EL SISTEMA DE PUESTAS A TIERRA.	36
1.8	CRITERIOS DE DISEÑO DE SPT.....	38
1.8.1	LOS CRITERIOS DE DISEÑO	38
1.8.2	SISTEMA DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA.....	40
1.9	EQUIPOS Y PRUEBAS DE MEDICIÓN EN SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA.	41

1.9.1	MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DE TIERRA	41
1.9.1.1	MÉTODO DE LOS CUATRO ELECTRODOS O MÉTODO DE WENNER. .	41
1.9.2	MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	43
1.9.2.1	MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA MEDIANTE MEDIDOR TIPO PINZA.	43
CAPITULO II		46
DIAGNOSTICO DEL SISTEMA.....		46
2.1	LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO DEL SISTEMA ACTUAL.	46
2.2	ANÁLISIS DE SPT EXISTENTE.....	48
2.3	MEDICIONES.....	50
2.3.1	MEDICIÓN DE LOS VALORES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.....	51
2.3.1.1	CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.....	52
2.3.1.2	PROCEDIMIENTO PARA LA CORRECTA TOMA DE DATOS EN LA MEDICIÓN.....	52
2.3.2	MEDICIÓN DE LOS VALORES DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO.	54
2.3.2.1	CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.....	54
2.3.2.2	PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO (MÉTODO DE WENNER).....	55
2.3.3	CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD.....	57
2.4	ANÁLISIS DEL SUELO.....	58
CAPITULO III.....		60
PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA.....		60
3.1	ESTADO ACTUAL DEL SPT.....	60
3.2	DETERMINACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	63
3.2.1	AUMENTO DEL NÚMERO DE ELECTRODOS EN PARALELO.	64
3.2.2	EL AUMENTO DE LA LONGITUD Y EL DIÁMETRO DE LOS ELECTRODOS.....	65
3.2.3	EL AUMENTO DE LA DISTANCIA ENTRE EJES DE LOS ELECTRODOS.....	66
3.2.4	CAMBIO DEL TERRENO	66
3.2.5	TRATAMIENTO QUÍMICO DEL SUELO.....	67

3.2.6	EL REDISEÑO O IMPLEMENTACIÓN DE MALLAS A TIERRA.	69
3.3	PROPUESTA DE MEJORAMIENTO.	69
3.3.1	CALIBRE DEL CONDUCTOR.	70
3.3.2	DISEÑO BÁSICO.	72
3.3.3	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA RG EN OHMIOS.	74
3.3.4	ACCIONES DE MEJORA.	75
3.3.5	SUELDA EXOTÉRMICA.	77
3.3.6	JAULA DE FARADAY.	78
3.4	EVALUACIÓN DEL COSTO.	79
3.5	MANTENIMIENTO.	80
3.5.1	INSPECCIÓN.	81
3.5.2	EXAMEN.	81
3.5.3	PRESCRIPCIONES.	83
3.5.4	PROHIBICIONES.	84
3.5.5	MANTENIMIENTO POR EL PROFESIONAL CALIFICADO.	84
	CAPITULO IV	86
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
4.1	CONCLUSIONES.	86
4.2	RECOMENDACIONES.	87
	BIBLIOGRAFÍA	87
	ANEXO A	90
	ANEXO B	92
	ANEXO C	97
	ANEXO D	108

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1.- Sistema de varilla "Cooper Well"	10
Figura 2.- Sistema de plancha (A N Wallis and Co.).....	12
Figura 3.- Sistema de red o malla	13
Figura 4.- Potenciales de contacto permitidos	16
Figura 5.- Sistema de disco.....	17
Figura 6.- Sistema de esfera.....	17
Figura 7.- Jaula de Faraday frente al campo eléctrico.	18
Figura 8.- Puesta a tierra para sistemas eléctricos.....	20
Figura 9.- Puesta a tierra de los equipos eléctricos	21
Figura 10.- Puesta a tierra de equipo electrónico.....	22
Figura 11.- Puesta a tierra de protección atmosférica.	23
Figura 12.- Sistemas con puestas a tierra dedicadas e interconectadas.....	25
Figura 13.- Puesta a tierra separadas o independientes.....	25
Figura 14.- Una sola puesta a tierra para todas las necesidades.....	26
Figura 15.- Medición resistividad aparente.....	33
Figura 16.- Esquema de medición de resistencia de puesta a tierra.....	35
Figura 17.- Interconexión de la construcción de electrodos de puesta a tierra	39
Figura 18.- Método Wenner.....	42
Figura 19.- Medición de la SPT utilizando pinza.	44
Figura 20.- circuito básico simple.....	44
Figura 21.- Circuito equivalente	45
Figura 22.- Salida Hacia la varilla de Cooper Well "A", costado Este.....	48
Figura 23.- Varilla de Cooper Well "B", parte posterior del CMEE.	49
Figura 24.- Varilla de Cooper Well "C", parte lateral Oeste del CMEE.	49
Figura 25.- Jaula de Faraday, laboratorio de alta frecuencia del CMEE.	50
Figura 26.- Pinza para Resistencia de Tierra, modelo 382356	51
Figura 27.- Medidor Digital de Resistencia de Puesta a Tierra Fluke 1625	54
Figura 28.- Cableado Fluke 1625.....	55
Figura 29.- Toma de medidas a campo abierto	56
Figura 30.- Grafico resistividad vs. longitud	57
Figura 31.- Varilla cubierta por construcción.	60
Figura 32.- Conexión a la varilla B.....	61
Figura 33.- Conexión a la varilla C con perno.	62
Figura 34.- Apreciación de la Jaula de Faraday.	63
Figura 35.- Reducción de resistencia por aumento de electrodos.	65
Figura 36.- Configuración de mallas a tierra.	73
Figura 37.- Malla propuesta (Anexo D).....	75
Figura 38.- Caja de registro de hormigón.	76

Figura 39.- Proceso exotérmico. 77

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Capacidades de los laboratorios	6
Tabla 2.- Requisitos para electrodos de puesta a tierra.....	11
Tabla 3.- Constantes de materiales.	27
Tabla 4.- Tabla 250-95 de la NTC 2050.	28
Tabla 5.- Valores orientativos de resistividad del terreno.....	31
Tabla 6.- Valores medios aproximados de la resistividad del terreno.	31
Tabla 7.- Fórmula para estudiar la resistencia de tierra en función de la resistividad del terreno y las características del electrodo.....	32
Tabla 8.- Datos del Grupo Electrógeno del Sistema de Emergencia	46
Tabla 9.- Potencia de los equipos.....	47
Tabla 10.- Valores de Resistencia de Puesta a Tierras existentes.....	53
Tabla 11.- Valores de Resistividad del Terreno en el Centro de Metrología.....	56
Tabla 12.- Porcentaje de reducción THOR-GEL.....	76
Tabla 13.- Rubros de la instalación.....	80

INTRODUCCIÓN

La importancia de entender el comportamiento de la electricidad y cuáles son sus aplicaciones, hoy en día es un hecho que todas las personas se ven involucradas de cualquier modo con la electricidad tanto en sus casas como en el trabajo. De ahí surge la importancia que tengan las protecciones tanto para el hombre como para los aparatos eléctricos. Este trabajo está enfocado al estudio e importancia que tienen los sistemas de puesta a tierra dentro de las instalaciones eléctricas.

Según la IEEE la definición de puesta a tierra es: “conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito electrónico o equipo se conecta a la tierra o a algún cuerpo conductor de dimensiones relativamente grande que cumple la función de tierra”.

Un sistema de puesta a tierra comprende una unión metálica directa, sin protección eléctrica alguna, entre una parte de una instalación y un electrodo vinculado al suelo. El electrodo se dimensiona para asegurar que la instalación esté al mismo potencial de la tierra en ausencia de corriente y a un potencial cercano a una circulación de corriente de falla o de descarga.

En lo referente a la normativa eléctrica Ecuatoriana INEN, el cual propone como principales objetivos en estos tipos de sistemas: proteger a las personas, la propiedad y otros seres vivos contra riesgos que provengan de la instalación eléctrica. La puesta a tierra es fundamental en la mayoría de las prácticas para obtener seguridad. El sistema de puesta a tierra debe proporcionar un camino directo a tierra para las corrientes de falla a la vez que minimizar potenciales de paso y contacto. La función secundaria es contribuir a reducir perturbaciones y servir como una referencia de voltaje común para equipo electrónico sensible. Sin embargo, con el creciente uso de este tipo de equipo, hay una mayor conciencia de la importancia de esta función secundaria del sistema de puesta a tierra. Esto está conduciendo a un consenso de opinión de que el sistema de puesta a tierra debe diseñarse como un sistema global tal que satisfaga los requisitos de seguridad y de comportamiento.

El Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano está dotada de instalaciones en las que se utilizan equipos sensibles y participa un número considerable de personas, es necesario realizar un diagnóstico que verifique el cumplimiento de la norma y que abarque los requisitos generales, tipos de materiales utilizados, parámetros bajo los cuales fueron instalados y metodología de medición de la resistencia de puesta a tierra que arroje un diagnóstico claro del estado que presentan las puestas a tierra, para en base a esta plantear una propuesta de mejoramiento.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a los diferentes trabajos que se realizan en el Laboratorio del Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano, para los cuales se necesitan equipos especiales, mismos que, deben estar en perfecto estado y no tener errores al momento de emplearlos, es necesario realizar un diagnóstico y propuesta de mejoramiento al sistema de puesta a tierra, ya que este es parte fundamental para evitar daños prematuros y errores en la obtención de datos en los diferentes elementos de calibración, para poder brindar un trabajo eficiente al momento de su ejecución.

Haciendo uso de los recursos intelectuales de la ESPE-L y la facilidad que brinda el Centro de Metrología, se realizara un diagnóstico y se planteara la propuesta para el mejoramiento, esto permitirá tener un enfoque real de las condiciones en que se encuentra y proponer una mejora que satisfaga las necesidades del Laboratorio.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar un diagnóstico y establecer una propuesta de mejoramiento en el Sistema de Puesta a Tierra existente en el Laboratorio del Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Realizar el diagnóstico del Sistema de Puesta a Tierra existente del Laboratorio.
- ✓ Realizar mediciones de campo en los Sistemas de puesta a tierra del Laboratorio.
- ✓ Establecer una propuesta de mejora para el sistema ya existente en el Laboratorio.

ALCANCE

Este documento presenta la teoría y metodología de la prueba de resistencia de la tierra, el equipo requerido, un procedimiento detallado de prueba y resultados.

También explica el uso de los datos de la resistencia del suelo en a propuesta para el mejoramiento del sistemas de aterramiento para cumplir los requerimientos de funcionamiento específicos.

Establece los conceptos y procedimientos básicos para la medición de la resistencia de puesta a tierra de los electrodos o mallas instaladas en el Laboratorio de Metrología del Ejército Ecuatoriano.

JUSTIFICACIÓN

Sabiendo la importancia de la puesta a tierra, existe la necesidad de proponer periódicamente una mejora, debido a que influye mucho las condiciones climáticas, y en todo momento se entiende que una puesta a tierra varia tanto por aspectos del terreno y las condiciones propias que constituyen un problema para medir y obtener una buena puesta a tierra.

En la actualidad se puede observar el gran interés que tienen los sistemas de puesta a tierra, debido a la labor que desempeña como parte de la protección hacia los artefactos eléctricos, electrónicos y en si a todo ser vivo, por lo que es

necesario conocer el estado en el que se encuentran, así como la mayor cantidad de parámetros posibles relacionados con los mismos.

En este proyecto se pretende mejorar el Sistema de Puesta a Tierra existente, esto ayudará a tener un conocimiento actualizado del mismo, brindando un confiable respaldo para realizar cualquier tipo de mantenimiento, disminuyendo así los riesgos de accidentes eléctricos, daños o pérdidas inoportunas de los equipos especiales existentes, así como los errores en la adquisición de datos en los mismos, ocasionados por el desconocimiento del estado operativo de la instalación.

CAPITULO I

INSTALACIÓN DE PUESTAS A TIERRA (SPT)

1.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS LABORATORIOS DE METROLOGÍA.

1.1.1 MISIÓN.

El CMEE proporciona servicio de calibración y/o caracterización a equipos patrones y de medición en las magnitudes: eléctricas, electrónicas, tiempo y frecuencia, termometría y presión de equipos de uso militar y civil, así como el asesoramiento metrológico, en forma permanente en las instalaciones y/o en sitios con infraestructura y equipo humano profesional técnicamente preparado para satisfacer las necesidades del Ejército Ecuatoriano y de las Instituciones Nacionales y/o Extranjeras bajo la norma NTE INEN ISO /IEC 17025 contribuyendo al desarrollo tecnológico de alta calidad en el país.

1.1.2 VISIÓN.

Ser líderes en servicios de calibración en magnitudes electromagnéticas y fuerza con alta credibilidad y confianza, con personal capacitado profesionalmente y con un alto nivel de experiencia, bajo la norma NTE INEN ISO/IEC 17025 para satisfacer las necesidades de la industria nacional e internacional militar y civil con excelencia, eficiencia y eficacia.

1.1.3 INFRAESTRUCTURA Y ACTIVIDADES.

El Centro de Metrología del Ejército del Ecuador, funciona desde 1995, en el Campamento Militar “Rumiñahui” (Anexo A-1), unidad sede de las Comunicaciones del Ejército, en la actualidad lo constituyen un conjunto de laboratorios basados en patrones eléctricos, conjugando en su contexto desde patrones primarios hasta patrones de trabajo agrupando las mejores tecnologías, dentro de las áreas existentes, con una inversión de 1.5 millones de dólares.

El Centro de Metrología fue inaugurado en Noviembre del mismo año, con la visión de conformar una empresa única en su género a nivel nacional, para brindar

los servicios de calibraciones a equipos electrónicos, en las áreas de baja frecuencia, alta frecuencia, termometría y presión.

Viene realizando la calibración y la caracterización de equipos patrones y de medición en las diferentes magnitudes así como también brindando el asesoramiento metrológico tanto a unidades de las Fuerzas Armadas como a Instituciones civiles bajo la norma NTE INEN ISO/IEC 17025.

Esta es la razón para que el INEN como máxima autoridad Metrológica y normalización del Ecuador, crea la red nacional de laboratorios acreditados con el fin de suplir la demanda Metrológica existente, y contar con la participación de laboratorios privados que exploren otras magnitudes y que complementen las ya existentes.

Los laboratorios del CMEE han sido diseñados y construidos cumpliendo las especificaciones RP-7 del National Conference Standards laboratories International, para todos los servicios de calibración que se prestan.

Sus instalaciones han sido consideradas por el Sistema Ecuatoriano de Metrología Normalización, Acreditación y Certificación (MNAC), encargada de Acreditar la competencia técnica de los organismos que operan en materia de evaluación de la conformidad, para conformar la Red de Metrología de Laboratorios Nacionales del Ecuador.

1.1.4 CAPACIDADES DE LOS LABORATORIOS

Tabla 1.- Capacidades de los laboratorios

DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS GENERALES
Osciloscopios digitales	Hasta 6 GHz
Osciloscopios Analógicos	Hasta los 200 MHz
Fuentes de Poder	0 hasta 60 Vdc, 0 hasta 30 A
Capacímetros	> 1000 pF
Milivoltímetros	1 nV a 3 V
Amperímetros	hasta 10 A
Multímetros Digitales/Analógicos	1 mV a 1000 V, 1 nA a 10 A
Resistencias	1 mOhm a 100 MOhm
Medidores LCR	> 1000 pF, > 100 uH
Multicalibradores	200 mV hasta 1000 V, desde DC hasta 30 MHz, 220 mA hasta 11 A, 0 hasta 100

	MOhm
Analizadores de Redes	Hasta 6 GHz
Text Fixtures	Voltaje, Corriente, Resistencia y Frecuencia
Puentes de Impedancias Patrón	> 1000 pF y > 100 uH
Patrones de Voltaje DC	10 Vdc
Patrones de Resistencias	1 mOhm a 100 MOhm
Fuentes de Corriente	1 uA a 10 A
Generadores de Barrido	Hasta 20 GHz
Temporizadores	desde nano segundos
Atenuadores	Hasta 20 GHz 20 W, Hasta 1 GHz 30 W
Generadores de RF	Hasta 20 GHz 20 dBm
Generadores de Función	Hasta 30 MHz 24 dBm
Medidores de Potencia de Micro Ondas	-70 dBm a +20 dBm Hasta los 26 GHz
Cabezas censoras de Potencia	-70 dBm a +20 dBm Hasta los 26 GHz
Frecuencímetros	1 mV de sensibilidad Hasta los 20 GHz
Osciladores	Rubidio y Quarzo
Amplificadores de RF	Hasta 40 dBm, Hasta 4 GHz
Ruido de Fase de Osciladores	Hasta -170 dBc/rHz
Generadores de Ruido	Frecuencias de Audio
Generadores de Audio	5 uV a 50 V
Analizadores de Distorsión	Frecuencias de Audio
Medidores de SWR	Hasta los 6 GHz
Analizadores de Espectros	Hasta los 20 GHz
Monitores de Servicio	Med. de audio y ruido, Osciloscopios Analizadores, Medidor SWR
Patrones de Transferencia	AC/DC
Analizadores de Fourier	Hasta los 10 MHz
Capacidad en Temperatura	- 40°C a + 800°C
Rangos de patrones de referencia	30 PSI a 10000 PSI Incertidumbre 0.081 PSI 5.8 PSI a 1500 PSI Incertidumbre 0.012 PSI
Vacío	De -10 a -0.5 PSI Incertidumbre 0.001 PSI

Fuente: Centro de metrología del Ejército Ecuatoriano.

1.1.5 APLICACIONES.

1.1.5.1 EMPRESAS PÚBLICAS Y PRIVADAS A LAS CUALES PRESTA SERVICIO.

- Industria Petrolera
- Sistema de Comunicaciones
- Sistemas de Control

- Sistemas de Navegación
- Sistemas de Calibrar
- Área Educativa
- Área Comercial
- Investigación Científica

1.1.5.1 FUERZAS ARMADAS.

- Sistema de Guerra Electrónica
- Sistema de Seguridad
- Aeronáutica
- Industrias Militares
- Investigación Científica

1.2 TIPOS DE SPT.

Independientemente de las medidas de seguridad que actualmente equipen los aparatos eléctricos o electrónicos, se ha visto que todas las instalaciones eléctricas deben incorporar redes de tierra, como medida de protección contra contactos indirectos.

Una instalación de puesta a tierra está formada por uno o varios conductores metálicos (electrodos) unidos entre sí, enterrados en contacto directo con el terreno y conectados con la instalación eléctrica a través de la línea de tierra de manera que se posibilite el paso, al y desde el terreno, de corrientes con diferentes orígenes, tales como desequilibrios eléctricos, sobretensiones de origen atmosférico, sobretensiones de maniobra o cargas estáticas, produciéndose en el terreno distribuciones de potencial que pueden afectar a la seguridad de las personas y bienes¹.

Los principales tipos de Sistemas de Puestas a Tierra son:

¹ MARTINEZ V. Juan A. Coordinación de aislamiento en redes eléctricas de alta tensión, España, 2008, Pág. 177.

- Sistema de varilla "Cooper Well"
- Sistema de plancha
- Sistema de red o malla
- Sistema de disco
- Sistema de esfera
- Jaula de Faraday

1.2.1 SISTEMA DE VARILLA "COOPER WELL"

De acuerdo al CPE INEN 19:2001 CEN 250-81 (Código de Práctica Ecuatoriano) los electrodos de varilla y tubo, no deben tener menos de 1,80 m de largo y deben instalarse de tal modo que por lo menos 1,80 m de su longitud esté en contacto con la tierra. Las varillas de metales no ferrosos deben estar aprobadas y tener un diámetro no inferior a 13 mm de diámetro, y las demás de por lo menos 16mm. Las tuberías deben tener un diámetro no inferior a 19 mm, y si son de hierro, deben tener una protección contra corrosión en su superficie.

Las varillas de acero con un recubrimiento de cobre (Cooper Well) de 10 milésimas dura un promedio de 35 años en un suelo promedio; si tiene un recubrimiento de 13 milésimas dura hasta 45 años. En cambio, una varilla de acero galvanizado tiene una vida estimada de 15 años.

Estos electrodos se aplican al suelo mediante percusión hasta que alcanzan la profundidad adecuada. En caso de terrenos rocosos o de tepetate, las varillas no pueden meterse de esa manera; se doblan o solamente no pueden entrar. Ocasionalmente se ha sabido de casos donde las varillas han sido regresadas hacia la superficie después de haber tratado de clavarlas en terrenos rocosos.

Cuando la roca está a menos de 1,80 m, estos electrodos pueden meterse en diagonal hasta con un ángulo de 45 grados de la vertical. Pero, si no es este el caso, se deben enterrar horizontales en una trinchera abierta para el caso a 800 mm de profundidad por lo menos. Ver Figura 1.

La alternativa al golpeado es perforar un agujero, instalar la varilla y rellenar nuevamente el agujero, aunque no se obtiene la compactación ni la baja resistencia de contacto de la varilla percutida².

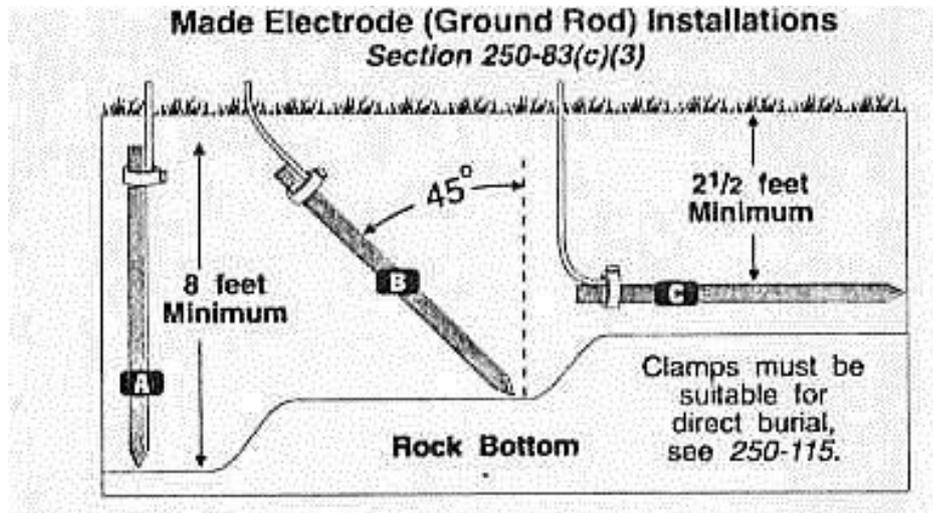


Figura 1.- Sistema de varilla "Cooper Well"

Se requiere de que la varilla se encuentre enterrada en un suelo apto con baja resistencia eléctrica, y que además, sea capaz de ofrecer una diferencia de potencial entre la tierra y el neutro de 0 V. El punto de empalme debe quedar dentro de una caja de inspección en concreto con dimensiones de 30 cm³. Cuando el terreno no brinda las condiciones necesarias para el sistema, la tierra debe ser preparada, garantizando una adecuada descarga; se recomienda que, en todos los casos, el material de relleno debe ser no-corrosivo, de un tamaño de partícula relativamente pequeño y si fuera posible, que ayude a retener la humedad. Muy a menudo, el material previamente excavado es apropiado como relleno, pero debiera ser arenado para remover piedras antes de rellenar, asegurándose de que quede bien compactado. El suelo debiera tener un índice³ de pH entre 6,0 (ácido) y 10,0 (alcalino).

La arcilla dura no es un material de relleno conveniente ya que si es fuertemente compactada, puede llegar a ser casi impermeable al agua y podría permanecer

² NOM-SEDE-001 a 2005 Instalaciones Eléctricas (utilización). Diario Oficial de la Federación el 13 Marzo 2006.

³ GUEDEL S. José, DOMINGUEZ G. Pedro, Instalaciones Eléctricas de Interior, MARCONBO S.A. 2005 España, Pág. 19.

relativamente seca. También puede formar grandes terrones que no se afianzan alrededor del conductor.

Los materiales que no debieran ser usados como relleno incluyen arena, polvo de coque, ceniza, muchos de los cuales son ácidos y corrosivos, en algunas circunstancias, se requiere materiales de relleno especiales.

Para efectos del presente serán de obligatorio cumplimiento que los electrodos de puesta a tierra, cumplan los siguientes requisitos, adoptados de las normas IEC 60364-5-54, BS 7430, AS 1768, UL 467 y UNESA 6501F. Ver Tabla 2.

Tabla 2.- Requisitos para electrodos de puesta a tierra.

Tipo de electrodo	Materiales	Dimensiones mínimas			
		Diámetro mm	Área mm ²	Espesor mm	Recubrimiento μm
Varilla	Cobre	12,7			
	Acero inoxidable	10			
	Acero galvanizado en caliente	16			70
	Acero con recubrimiento electrodepositado de cobre	14			100
	Acero con recubrimiento total en cobre	15			2000
Tubo	Cobre	20		2	
	Acero inoxidable	25		2	
	Acero galvanizado en caliente	25		2	55
Fleje	Cobre		50	2	
	Acero inoxidable		90	3	
	Obre cincado		50	2	40
Cable	Cobre	1,8 c/hilo	25		
	Cobre estañado	1.8 c/hilo	25		
Placa	Cobre		20000	1,5	
	Acero inoxidable		20000	6	

Fuente: NEC-10 (Normas Electromecánicas de la Construcción).

1.2.2 SISTEMA DE PLANCHA

Se usa varios tipos de placas para propósitos de puesta a tierra, pero el único tipo que se considera generalmente como electrodo debe ser sólido y de tamaño sustancial. Figura 2.

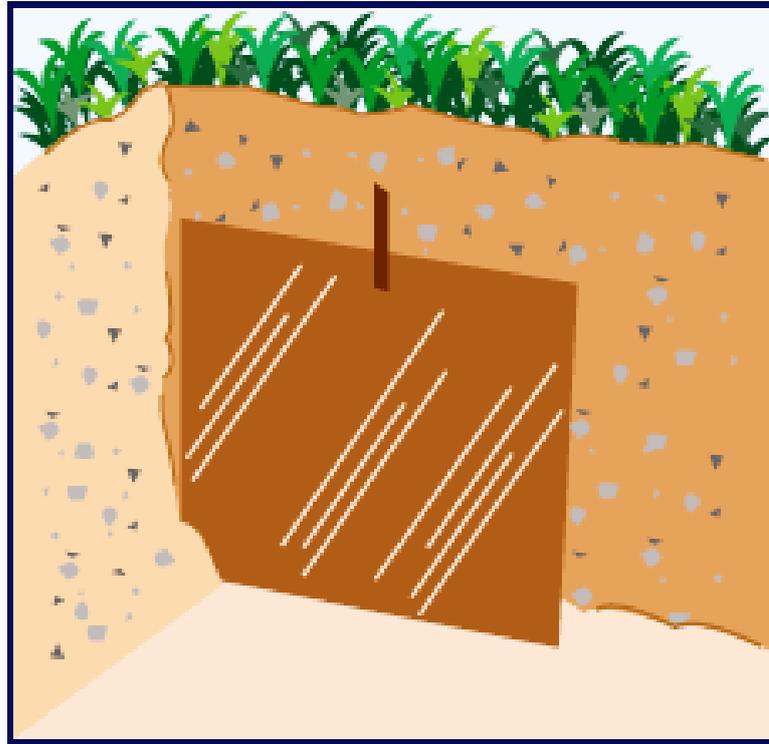


Figura 2.- Sistema de placa (A N Wallis and Co.)

Los electrodos de placa son de cobre o de hierro fundido. Las planchas de hierro fundido tienen un mínimo de 12 mm de espesor y son cuadradas de 915 ó 1220 mm por lado. Las planchas de cobre son típicamente cuadradas de 600 mm ó 900 mm de lado y entre 1,6 mm y 3 mm de espesor.

Cuando se usan varias planchas, deben instalarse a cierta distancia para prevenir una interacción. Esta distancia⁴ es mínimo de 2 m extendiéndose hasta 9 m.

Una expresión simplificada para determinar su resistencia de puesta a tierra es:

$$R = \frac{0,8 \rho_s}{L} [Ohms] \quad (\text{ec. 1.1})$$

Siendo:

L: la profundidad máxima [m].

P_s: la resistividad equivalente del terreno [Ohm-m].

⁴ GUEDES, José, DOMÍNGUEZ G. Pedro, Instalaciones Eléctricas de Interior, MARCONBO S.A. 2005 España, Pág. 17.

1.2.3 SISTEMA DE RED O MALLA

Es un reticulado formado por la unión de conductores horizontales, normalmente según direcciones perpendiculares y uniformemente espaciados, incluyendo eventualmente conductores verticales (barras). Se utiliza especialmente cuando el objetivo principal de la puesta a tierra es mantener un control de potenciales en la superficie del terreno, con un bajo valor de resistencia⁵. Ver Figura 3.

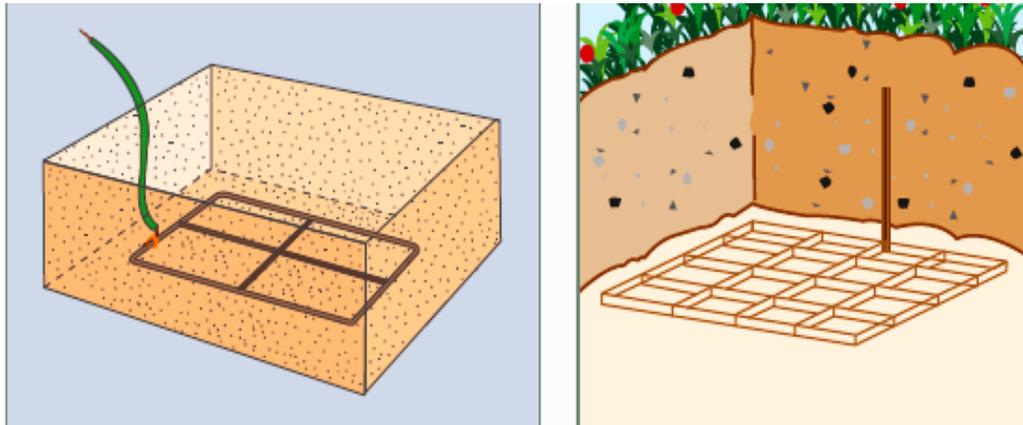


Figura 3.- Sistema de red o malla

Para efectuar un cálculo aproximado de su resistencia de puesta a tierra, se utiliza la expresión de Laurent:

$$R = \frac{\rho_e}{4\sqrt{S}/\pi} + \frac{\rho_e}{L} [\text{Ohms}] \quad (\text{ec. 1.2})$$

con :

ρ_e : resistividad equivalente del terreno [Ohm-m]

S : superficie que cubre la malla [m²]

L : longitud total de conductor de la malla [m]

En un terreno de 100 [Ohm-m] de resistividad equivalente, una malla de 10x10 m², con cuatro retículos (3 conductores en cada dirección, igualmente espaciados) y enterrada a 0,8 metros de profundidad, tiene una resistencia aproximada de:

$$R = 6,1 \text{ Ohms.}$$

⁵MORALES O. Nelson. Mallas de Tierra, Earthing Practice, 1ra edición, Santiago de Chile 1999, pag. 13.

1.2.3.1 VOLTAJES PRESENTES EN MALLAS DE TIERRA

Consideremos una malla formada por n conductores dispuestos en cada dirección, con separación uniforme D entre ellos, enterrada a una profundidad fija de h metros, siendo L la longitud total de conductor enterrado. En el momento en que la malla difunde una corriente de I Amperes al terreno, una persona puede quedar expuesta a los siguientes voltajes de riesgo⁶:

a. Voltaje de paso o voltaje pie-pie

Corresponde a la diferencia de potencial entre dos puntos ubicados sobre la superficie del suelo, separados una distancia de un metro:

$$V_p = K_s K_i \rho_e \frac{I}{L} [\text{Volts}] \quad (\text{ec. 1.3})$$

Dónde:

$$K_i = 0,65 + 0,172n \quad (\text{ec. 1.4})$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D+h} + \frac{1}{3D+h} + \dots + \frac{1}{(n-1)D+h} \right] \quad (\text{ec. 1.5})$$

b. Voltaje de contacto o mano-pie máximo, o voltaje de retículo.

El voltaje de contacto o mano-pie corresponde a la diferencia existente entre el potencial de un punto sobre la superficie del terreno, y el potencial que adquiere un conductor metálico unido a la malla. Para su estimación, se utiliza la expresión correspondiente al máximo posible, o voltaje de retículo:

$$V_m = K_m K_i \rho_e \frac{I}{L} [\text{Volts}] \quad (\text{ec. 1.6})$$

Dónde:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2} \text{Ln} \left(\frac{D^2}{16hd} \right) + \text{Ln} \left(\frac{3}{4} * \frac{5}{4} * \dots * \frac{(2n-3)}{(2n-2)} \right) \right] \quad (\text{ec. 1.7})$$

Estos voltajes presentes en la superficie del terreno, sobre una malla de tierra que difunde una corriente de falla, no deben superar en ningún caso, los voltajes tolerables por el cuerpo humano. La Guía de IEEE-80 define la máxima diferencia

⁶ MORALES O. Nelson. Mallas de Tierra, Earthing Practice, 1ra edición, Santiago de Chile 1999, pag. 14.

de potencial a que puede ser sometido el cuerpo humano, en base a los posibles puntos de contacto, mediante las expresiones:

a) Máximo voltaje de paso tolerable:

$$V_p = \frac{116+0,696cp_s}{\sqrt{t}} [Volts] \quad (\text{ec. 1.8})$$

b) Máximo voltaje de contacto tolerable:

$$V_c = \frac{116+0,174cp_s}{\sqrt{t}} [Volts] \quad (\text{ec. 1.9})$$

En donde:

ρ_s : resistividad de la capa superficial [Ω -m].

t : tiempo global de exposición [seg].

c : factor de corrección debido a la presencia de la capa superficial resistiva.

En la práctica se estima $c = 1$.

Los límites de diseño se han establecido como voltajes y, para llegar a los límites apropiados, es necesario considerar la impedancia a través del cuerpo humano, la resistencia de contacto de la mano, la resistencia del calzado y la resistividad del material superficial bajo el calzado. Suponiendo:

100 Ohms-metro la resistividad del suelo.

1000 Ohms para la impedancia del ser humano.

4000 Ohms de impedancia para el calzado.

300 Ohms resistencia de contacto de la mano.

Se tienen los límites mostrados en la figura 4.

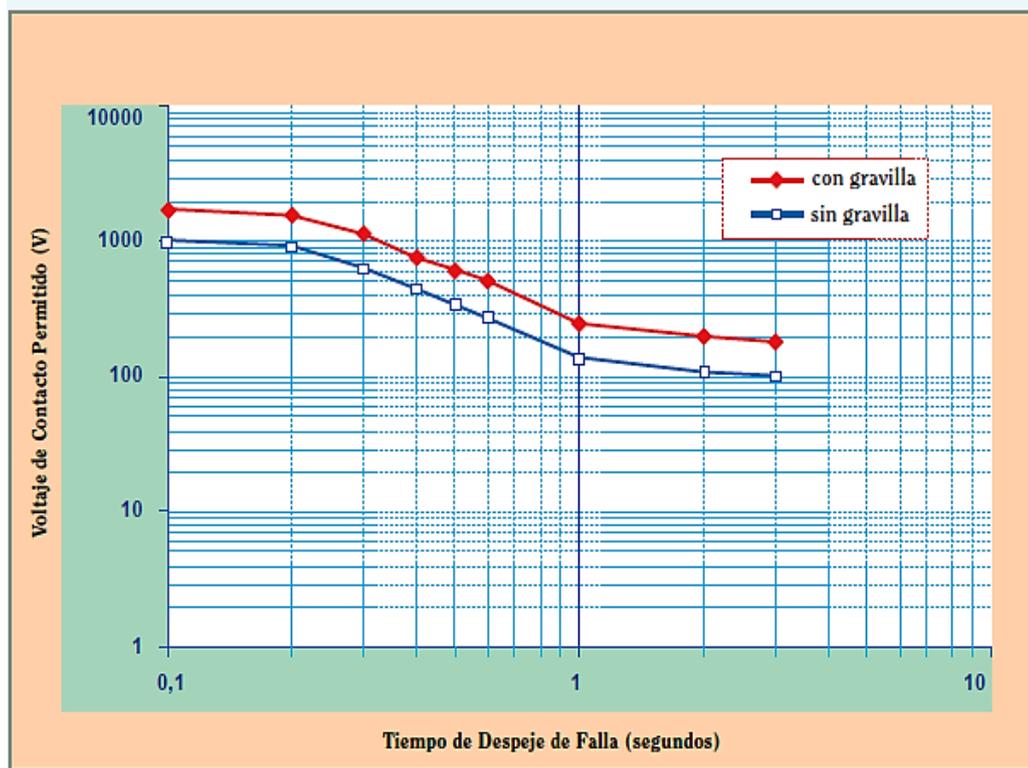


Figura 4.- Potenciales de contacto permitidos

1.2.4 SISTEMA DE DISCO

El sistema de puesta a tierra en forma de disco es utilizado a nivel industrial con el fin de aterrizar las cargas eléctricas que se encuentran en reposo en la superficie de las máquinas y/o equipos (electrostática). Ver Figura 5.

Se trata de un disco hecho en acero colled-rolado que actúa de forma individual para las carcasas de los equipos; se ubica en el suelo a poca profundidad (entre 10 y 30 cm), derivando se de él un hilo conductor en cobre que hace contacto con la estructura metálica de la maquinaria. La electrostática se produce en máquinas que funcionen o presenten fricción.

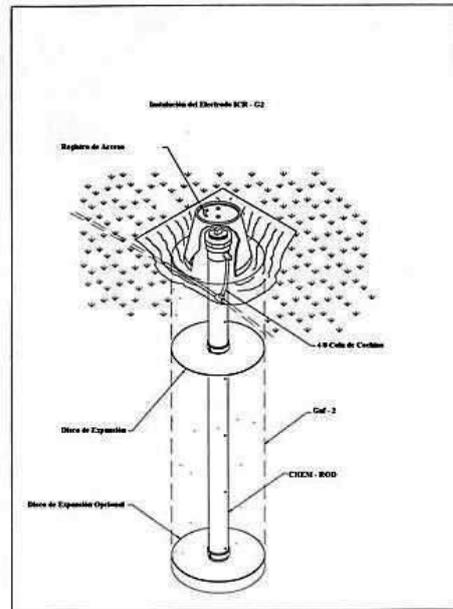


Figura 5.- Sistema de disco.

1.2.5 SISTEMA DE ESFERA.

Este tipo de sistema de puesta a tierra es utilizado para aterrizar cargas de alto nivel eléctrico, en redes de alta tensión. Se trata de una esfera en acero con un diámetro mínimo de 20 cm. que se ubica en el suelo a una profundidad muy grande (de entre 10 y 20 mts de la superficie). De su cuerpo se desprende un hilo conductor a través de un ducto, dirigiéndose a la superficie, evitando el contacto con la tierra, con el fin de evitar que se presente tensiones de paso. Ver Figura 6.

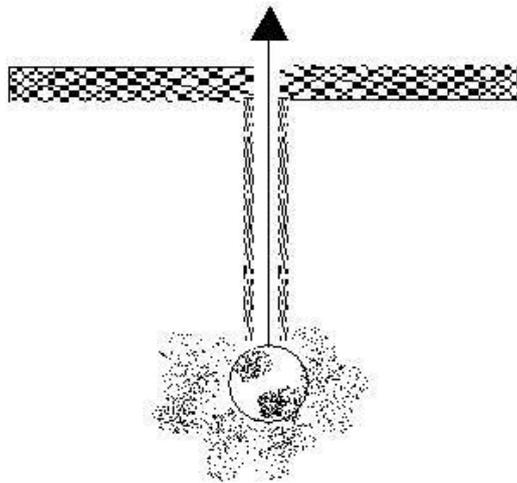


Figura 6.- Sistema de esfera.

1.2.6 JAULA DE FARADAY.

La Jaula de Faraday es un recinto cerrado formado por cubiertas metálicas o por un enrejado de mallas apretadas que impiden en el interior la influencia de los campos eléctricos exteriores. Al ser las ondas de radio ondas electromagnéticas no se pueden percibir en el interior de la misma.



Figura 7.- Jaula de Faraday frente al campo eléctrico.

Este fenómeno descubierto por Michael Faraday se basa en las propiedades de un conductor en equilibrio electrostático, Cuando la caja metálica se coloca en presencia de un campo eléctrico externo, Ver Figura 7, las cargas positivas se quedan en las posiciones de la red, los electrones sin embargo, que en un metal son libres, empiezan a moverse, puesto que sobre ellos actúa una fuerza eléctrica, este desplazamiento de las cargas hacen que en el interior de la caja se cree un campo eléctrico en sentido contrario al campo externo, por lo tanto el campo eléctrico resultante en el interior del conductor es nulo.

Loa sistemas de puesta a tierra pueden clasificarse de acuerdo a sus aplicaciones en⁷:

- Puesta a tierra para sistemas eléctricos.
- Puesta a tierra de los equipos eléctricos.

⁷ ROJAS Gregor, Manual de sistemas de puesta a tierra, GEDISTRUT 2008, Cap. 1, sec. 2

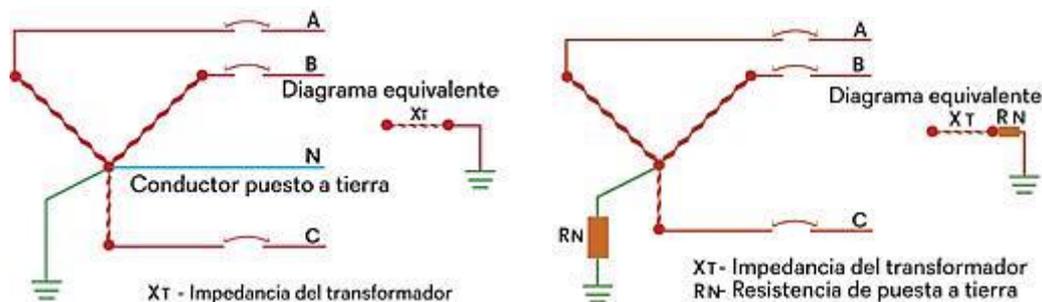
- Puesta a tierra en señales electrónicas.
- Puesta a tierra de protección electrónica
- Puesta a tierra de protección atmosférica
- Puesta a tierra de protección electrostática

1.2.7 PUESTA A TIERRA PARA SISTEMAS ELÉCTRICOS.

La puesta a tierra de sistemas eléctricos es la sección de mayor importancia de la norma eléctrica en un sistema eléctrico de distribución, la puesta a tierra de sistemas eléctricos limita cualquier voltaje elevado que pueda resultar de rayos, fenómenos de inducción o de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos. Para ello se utiliza un conductor apropiado que se conecta a la tierra.

Cabe destacar que en este tipo de instalaciones es necesario estar al tanto de las características de la línea, intensidad y tensión a la que la puesta será usada. También, es importante conocer el funcionamiento de los electrodos en sus resistencias durante el paso de la corriente eléctrica⁸.

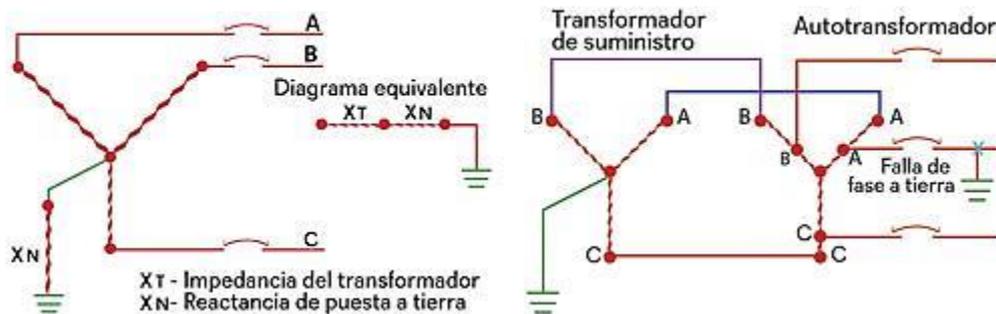
Poner a tierra el neutro es una conexión entre los neutros de transformadores y generadores, y la malla general de puesta a tierra. Estos puntos de conexión se ponen a tierra sólidamente o a través de una resistencia baja o alta, una reactancia baja o alta, transformadores o autotransformadores. Ver Figura 8. (a), (b), (c), (d), (e) y (f).



(a) Puesta a tierra sólidamente

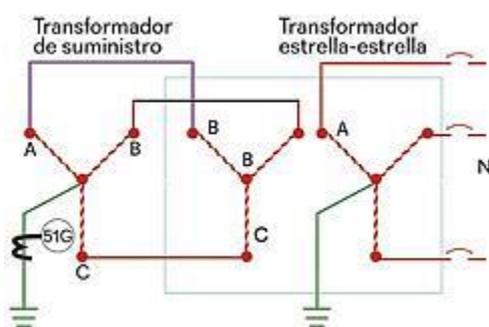
(b) Puesta a tierra con resistencia

⁸ OROPEZA A. Javier, El libro de oro de puesta a tierra universal, Editorial Schinder. Electric, México. G. E. 2005.

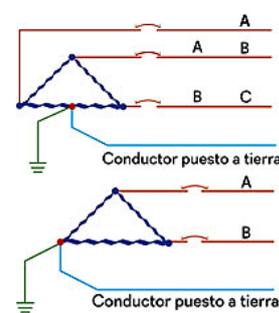


(c) Reactancia de puesta a tierra

(d) Autotransformadores



(e) Transformadores estrella-estrella



(f) Neutralizador de falla a tierra

Figura 8.- Puesta a tierra para sistemas eléctricos.

1.2.8 PUESTA A TIERRA DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS.

Se dice que hay fuga eléctrica cuando la energía sale de su circuito normal, es decir, de los hilos conductores. Esto ocurre cuando el aislamiento del conductor está deteriorado; se corre el riesgo entonces de que el conductor haga contacto con otro cuerpo conductor, como por ejemplo: una lavadora o una tubería metálica, originando el paso de corriente a través del contacto establecido.

Cuando esta situación se da, y en la instalación eléctrica doméstica no existe toma de tierra, el aparato al que ha pasado la corriente se vuelve un conductor de alta resistencia que al ser tocado produce un choque eléctrico que puede resultar muy peligroso en presencia de humedad o agua.

En tanto, cuando la instalación cuenta con puesta a tierra y una protección diferencial, ésta opera abriendo el circuito y evita la descarga, protegiendo así a las personas y a los equipos eléctricos.

La normativa y el sentido común indican que toda instalación eléctrica que se monte en la actualidad debe contar con toma de tierra⁹.



Figura 9.- Puesta a tierra de los equipos eléctricos

Ésta actuará como camino de retorno para las posibles fugas en aparatos e instalaciones defectuosas o mal aisladas, un camino de baja resistencia para la electricidad, un sistema de seguridad. Electrodomésticos, como por ejemplo lavadoras (Ver Figura 9.), en los que hay acumulaciones de agua, pueden entrañar un riesgo serio si no tienen toma de tierra.

1.2.9 PUESTA A TIERRA EN SEÑALES ELECTRÓNICAS.

Para evitar la contaminación con señales en frecuencias diferentes a la deseada. Se logra mediante blindajes de todo tipo conectados a una referencia cero o a tierra.

1.2.10 PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN ELECTRÓNICA.

Para evitar la destrucción de los elementos semiconductores por sobre voltajes, se colocan dispositivos de protección de forma de limitar los picos de sobré tensión conectados entre los conductores activos y tierra.

La puesta a tierra de los equipos electrónicos y de control, consta de una serie de electrodos instalados remotamente al edificio. En el interior se instala una barra de cobre electrolítico de dimensiones adecuadas montada a 2.60 metros sobre nivel

⁹ OROPEZA A. Javier, El libro de oro de puesta a tierra universal, Editorial Schinder. Electric, México. G. E. 2005.

de piso terminado con una leyenda indicativa, que es de uso exclusivo para el sistema de electrónica. Ver Figura 10.

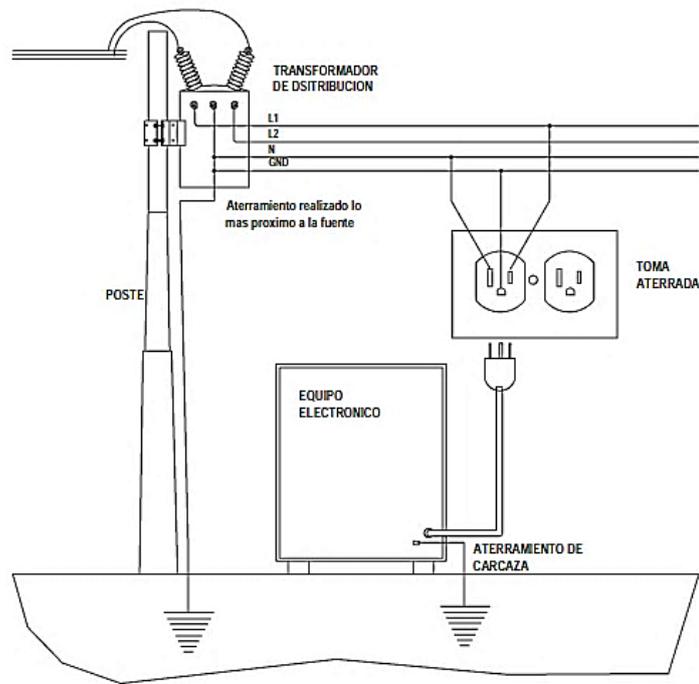


Figura 10.- Puesta a tierra de equipo electrónico

La resistencia a tierra máxima en este sistema debe ser de unos 2 Ohms, cuando no se alcanza la resistencia deseada, se instala algún elemento químico para reducir la resistividad del terreno y alcanzar así, la resistencia a tierra requerida¹⁰.

1.2.11 PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN ATMOSFÉRICA.

Como su nombre lo indica, se destina para drenar a tierra las corrientes producidas por descargas atmosféricas (RAYOS) sin mayores daños a personas y propiedades.

Se logra con una malla metálica igualadora de potencial conectada al planeta tierra que cubre los equipos o edificios a proteger o se conforma con electrodos tipo Cooper Wall y cable tipo pararrayos de cobre clase 1 de 27 hilos. Ver Figura 11.

¹⁰ ROJAS Gregor, Manual de sistemas de puesta a tierra, GEDISTRUT 2008, Cap. 1, sec. 3

La distancia del edificio con respecto al sitio donde se entierre el electrodo, no debe ser inferior a 2,50 metros y debe quedar totalmente aislado de los sistemas de tierras para fuerza y para electrónica.



Figura 11.- Puesta a tierra de protección atmosférica.

La resistencia a tierra en cualquier punto del sistema, no debe ser mayor a 10ohms, para lo cual en caso necesario, se implementarán arreglos de electrodos en Delta y/o un agregado de elementos químicos para reducir la resistividad del terreno, recomendados por el NEC-10 (Norma Ecuatoriana de Construcción) en el artículo 10.2.4.

1.2.12 PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN ELECTROSTÁTICA.

Sirve para neutralizar las cargas electrostáticas producidas en los materiales dieléctricos. Se logra uniendo todas las partes metálicas y dieléctricas, utilizando el planeta tierra como referencia de voltaje cero.

1.3 REQUISITOS GENERALES DE SPT.

El sistema de puesta a tierra debe cumplir los siguientes requisitos¹¹:

¹¹NEC-10 Normas Ecuatorianas de Construcción, Instalaciones Electromecánicas, Decreto Ejecutivo N° 3970, Parte 9-1-73.

- a) Los elementos metálicos que no forman parte de las instalaciones eléctricas, no podrán ser incluidos como parte de los conductores del sistema de puesta a tierra. Este requisito no excluye el hecho de que se deben conectar a tierra, en algunos casos.
- b) Los elementos metálicos principales que actúan como refuerzo estructural de una edificación deben tener una conexión eléctrica permanente con el sistema de puesta a tierra general.
- c) Las conexiones que van bajo el nivel del suelo en puesta a tierra, deben ser realizadas con soldadura exotérmica.
- d) En instalaciones domiciliarias, para verificar que las características del electrodo de puesta a tierra y su unión con la red equipotencial, cumpla con el código NEC-10, se debe dejar al menos un punto de conexión accesible e inspeccionable. Cuando para este efecto se construya una caja de inspección, sus dimensiones deben ser mínimo de 30 cm x 30 cm, o de 30 cm de diámetro si es circular y su tapa debe ser removible.
- e) No se permite el uso de aluminio en los electrodos de las puestas a tierra.
- f) Se permite el uso de electrodos activos si el ingeniero responsable los ha especificado y se podrán utilizar electrodos de otros tipos o materiales si previamente están incorporados y autorizados por este código
- g) A partir de la entrada en vigencia del presente Código queda expresamente prohibido utilizar en las instalaciones eléctricas, el suelo o terreno como camino de retorno de la corriente en condiciones normales de funcionamiento. No se permitirá el uso de sistemas monofilares, es decir, donde se tiende sólo el conductor de fase y donde el terreno es la única trayectoria tanto para las corrientes de retorno como de falla.
- h) Cuando por requerimientos de un edificio existan varias puestas a tierra, todas ellas deben estar interconectadas eléctricamente, según criterio adoptado de IEC-61000-5-2, tal como aparece en la Figura 12.

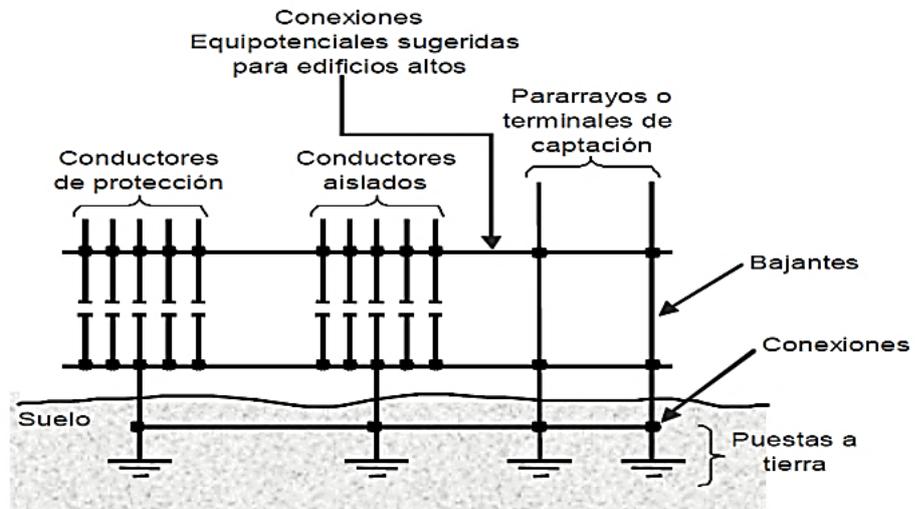


Figura 12.- Sistemas con puestas a tierra dedicadas e interconectadas.

- i) Así mismo, para una misma edificación quedan expresamente prohibidos los sistemas de puesta a tierra que aparecen en las Figuras 13 y 14, según criterio adoptado de la IEC 61000-5-2.

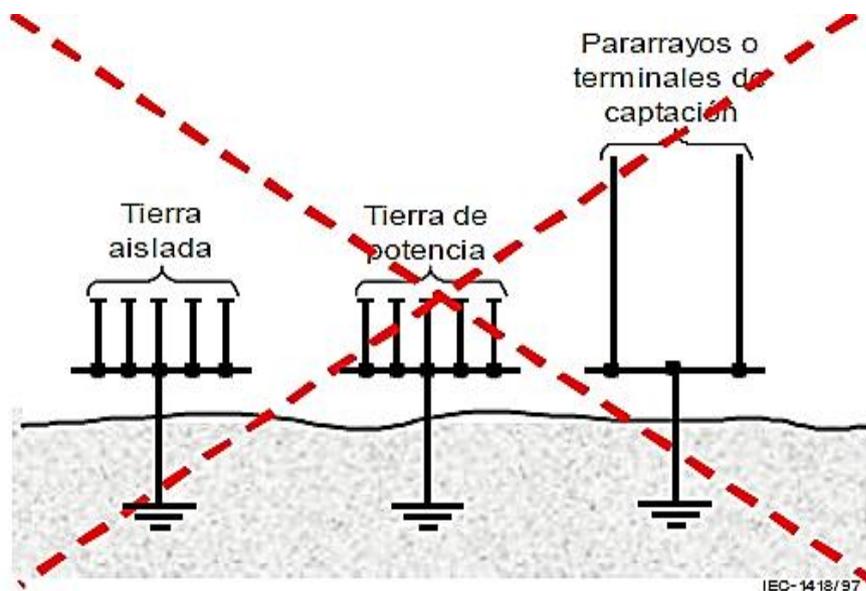


Figura 13.- Puesta a tierra separadas o independientes

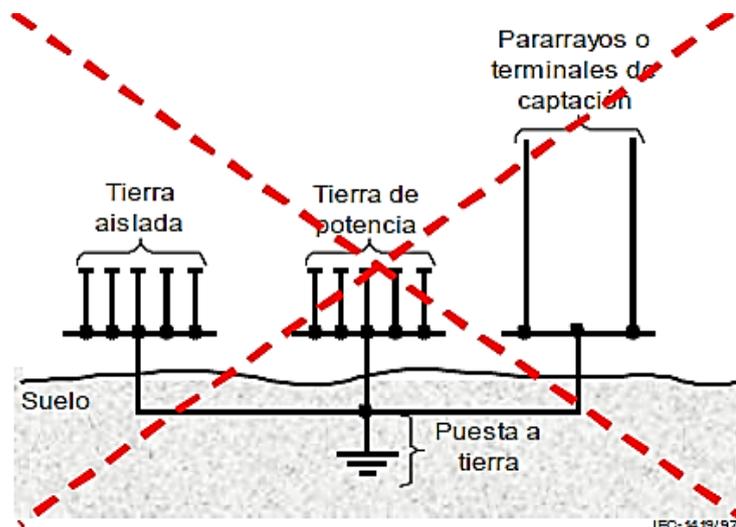


Figura 14.- Una sola puesta a tierra para todas las necesidades

Las anteriores figuras aclaran que se deben interconectar todas las puestas a tierra de un edificio, es decir, aquellas componentes del sistema de puesta a tierra que está bajo el nivel del terreno. Adicionalmente se debe cumplir que si una parte conductora que conforma el sistema de puesta a tierra está a menos de 1,8 m de una bajante de pararrayos, debe ser unida a la bajante. Igualmente, en el caso de los edificios altos, se requieren anillos equipotenciales para protección contra rayos.

1.4 MATERIALES DE SPT.

Los materiales para sistemas de puesta a tierra deben ser certificados y cumplir los siguientes requisitos¹²:

1.4.1 CONDUCTOR DE ELECTRODO DE SPT O CONDUCTOR DE TIERRA.

Es el conductor que une la puesta a tierra con el barraje principal de puesta a tierra. Para baja tensión, se debe seleccionar con la Tabla 3. (Tabla 250-94 de la NTC 2050).

Para el conductor del electrodo de puesta a tierra o conductor a tierra, además del cobre, se pueden utilizar otros materiales conductores o aleación de ellos, siempre

¹² RETIE, Reglamento Técnico de instalaciones Eléctricas, Colombia 2008. Pág. 62.

que se garantice su protección contra la corrosión durante la vida útil de la puesta a tierra y la resistencia del conductor no comprometa la efectividad de la puesta a tierra.

El conductor a tierra para media tensión, alta tensión y extra alta tensión, debe ser seleccionado con la siguiente ecuación, la cual fue adoptada de la norma ANSI/IEEE 80.

$$A = \frac{IK_f \sqrt{t_c}}{1,9737} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (\text{ec. 1.10})$$

En donde:

A es la sección del conductor en mm².

I es la corriente de falla a tierra.

K_f es la constante de la Tabla 3, para diferentes materiales y varios valores de *T_m*.

T_m es la temperatura de fusión o el límite de temperatura del conductor y una temperatura ambiente de 40 °C.

t_c es el tiempo de despeje de la falla a tierra.

Tabla 3.- Constantes de materiales.

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD (%)	T _m (°C)	K _F
Cobre blando	100	1083	7
Cobre duro cuando se utiliza soldadura exotérmica.	97	1084	7,06
Cobre duro cuando se utiliza conector mecánico.	97	250	11,78
Alambre de acero recubierto de cobre	40	1084	10,45
Alambre de acero recubierto de cobre	30	1084	14,64
Varilla de acero recubierta de cobre	20	1084	14,64
Aluminio grado EC	61	657	12,12
Aleación de aluminio 5005	53,5	652	12,41
Aleación de aluminio 6201	52,5	654	12,47
Alambre de acero recubierto de aluminio	20,3	657	17,2
Acero 1020	10,8	1510	15,95
Varilla de acero recubierta en acero inoxidable	9,8	1400	14,72
Varilla de acero con baño de cinc (galvanizado)	8,5	419	28,96
Acero inoxidable 304	2,4	1400	30,05

Fuente: RETIE, Reglamento Técnico de instalaciones Eléctricas

NOTA:

- No se debe utilizar aluminio enterrado.
- Se permite el uso de cables de acero galvanizado en sistemas de puestas a tierra en líneas de transmisión, redes de distribución e instalaciones de uso final, para lo cual se podrán utilizar los parámetros de la varilla de acero recubierta en cinc.
- Se permite el uso de conductores con distinta geometría (platina o T) y de otros materiales que demuestren su resistencia a la corrosión.
- El recubrimiento en cobre de la varilla de acero, no debe ser menor a 0,25 mm

1.4.2 CONDUCTORES DE PROTECCIÓN O DE SPT DE EQUIPOS.

El conductor de protección, también llamado conductor de puesta a tierra de equipos, debe cumplir los siguientes requisitos¹³:

- a) El conductor para baja tensión, debe seleccionarse con la Tabla 4. (Tabla 250-95 de la NTC 2050).

Tabla 4.- Tabla 250-95 de la NTC 2050.

Calibre mínimo del conductor de continuidad de tierra para ducterías y equipos (Norma NTC 2050, tabla 250-95)		
Corriente nominal o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes del equipo, tubos conduit, etc. (Amperios)	Sección transversal	
	Conductor de cobre N°	
	<i>mm</i> ²	AWG
15	2.08	14
20	3.3	12
30	5.25	10
40	5.25	10
60	5.25	10
100	8.36	8
200	13.29	6
300	21.19	4
400	26.66	3
500	33.62	2
600	42.20	1
800	53.50	1/0
1000	67.44	2/0
1200	85.02	3/0
1600	107.21	4/0

¹³ RETIE, Reglamento Técnico de instalaciones Eléctricas, Colombia 2008. Pág. 63.

- b) El conductor para media tensión, alta tensión y extra alta tensión, deben seleccionarse de forma tal que su temperatura no supere la del aislamiento de los conductores activos alojados en la misma canalización.
- c) Los conductores del sistema de puesta a tierra deben ser continuos, sin interruptores o medios de desconexión y cuando se empalmen, deben quedar mecánica y eléctricamente seguros mediante soldadura o conectores certificados para tal uso.
- d) El conductor de puesta a tierra de equipos, debe acompañar los conductores activos durante todo su recorrido y por la misma canalización.
- e) Los conductores de los cableados de puesta a tierra que por disposición de la instalación se requieran aislar, deben ser de aislamiento color verde, verde con rayas amarillas o identificados con marcas verdes en los puntos de inspección y extremos.

1.5 VALORES DE RESISTENCIA DE SPT.

En general, la resistencia total que presenta una instalación de puesta a tierra está constituida por la suma de las siguientes partes:

- La resistencia del conductor (línea de tierra y línea de enlace con el electrodo) que conecta el electrodo de tierra al sistema que debe ponerse a tierra,
- La resistencia de contacto entre la superficie del electrodo y el terreno,
- La resistencia del suelo en el que está enterrado el electrodo.

La resistencia del conductor se puede determinar perfectamente por los procedimientos usuales. La de contacto con el terreno es despreciable por su escaso valor y la parte más significativa es la correspondiente al terreno que rodea al electrodo.

A este respecto, debe señalarse la escasa importancia de la baja resistividad de los materiales utilizados como electrodos frente a la que posee el terreno. En efecto, si se trata de cobre, presenta una resistividad de:

$$\rho_{Cu(20^\circ)} = \frac{1}{58} \left(\frac{\Omega mm^2}{m} \right) = \frac{1}{58} * \frac{\Omega mm^2}{m} * \frac{1m^2}{10^6 mm^2} = \frac{1}{58 * 10^6} \left(\frac{\Omega m^2}{m} \right) \quad (\text{ec. 1.11})$$

Mientras que para un terreno excelente, en circunstancias favorables, rara vez podrá alcanzarse una $\rho_{\text{terreno}} = 1 \Omega m^2/m$ es decir que, en el mejor de los casos, posee una resistividad 58 millones de veces mayor que la del cobre, circunstancia a veces no tenida en cuenta y por cuya razón poco importa, desde el punto de vista de la resistividad, el metal utilizado como electrodo¹⁴.

En cuanto a la resistencia que presenta el terreno es función de la resistividad del mismo y de las dimensiones y forma del electrodo y aunque, pese a ello, se considere la tierra como un conductor de ilimitada conductancia, por sus grandes dimensiones, no puede asumirse, por extensión, que las conexiones que a ella se efectúen mediante electrodos conseguidas de una forma bien distinta de la que es habitual entre conductores, al faltar aquí la presión externa entre los dos medios a interconectar tenga esa misma propiedad, ya que cualquiera que sea la forma que presenten, ofrecerán una resistencia definida al paso de la corriente y, en muchos casos, resultará difícil obtener una puesta a tierra de baja resistencia.

La resistencia de un electrodo depende de sus dimensiones, de su forma y de la resistividad del terreno en el que se establece. Esta resistividad varía frecuentemente de un punto a otro del terreno, y varía también con la profundidad.

La tabla 5 muestra, a título de orientación, unos valores de la resistividad para un cierto número de terrenos.

Con objeto de obtener una primera aproximación de la resistencia a tierra, los cálculos pueden efectuarse utilizando los valores medios indicados en la tabla 6.

Aunque los cálculos efectuados a partir de estos valores no dan más que un valor muy aproximado de la resistencia a tierra del electrodo, la medida de resistencia de tierra de este electrodo puede permitir, aplicando las fórmulas dadas en la tabla 1.7, estimar el valor medio local de la resistividad del terreno. El conocimiento de

¹⁴ GARCIA M. Rogelio, puesta a tierra de instalaciones eléctricas, EDITORIALMARCOMBO España, 1999, Pág. 11

este valor puede ser útil para trabajos posteriores efectuados, en condiciones análogas¹⁵.

Tabla 5.- Valores orientativos de resistividad del terreno

Naturaleza del terreno	Resistividad en Ohmios · metro
Pantanosos	Menor de 30
Limo	20 a 100
Humos	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y Arcillas compactas	100 a 200
Margas del Jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 5.000
Suelo pedregoso desnudo	1.500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1.000 a 5.000
Calizas agrietadas	500 a 1.000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000
Granito y gres muy alterado	100 a 600

Tabla 6.- Valores medios aproximados de la resistividad del terreno.

Naturaleza del terreno	Valor medio de la resistividad (ρ) en ohmios · metro
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terrenos cultivables poco fértiles y otros terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3.000

¹⁵ GUEL S. José, DOMINGUEZ G. Pedro, Instalaciones Eléctricas de Interior, MARCONBO S.A. 2005 España, Pág. 276.

Tabla 7.- Fórmula para estudiar la resistencia de tierra en función de la resistividad del terreno y las características del electrodo

Electrodo	Resistencia de tierra R en Ohmios
Placa enterrada	$R = 0,8 \frac{\rho}{P}$
Pica vertical	$R = \frac{\rho}{L}$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = 2 \frac{\rho}{L}$
<p>ρ, resistividad del terreno (Ohmios · metro) P, perímetro de la placa (m) L, longitud de la pica o del conductor (m)</p>	

Tablas 5, 6, 7: GUEDEL S. José, DOMINGUEZ G. Pedro, Instalaciones Eléctricas de Interior

1.5.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

Si bien los componentes más importantes del terreno son, en estado seco, aislante (la sílice, el óxido de aluminio, etc.), su resistividad disminuye rápidamente en presencia de sales solubles y de la humedad.

Por otro lado, la composición de la tierra, incluso en un lugar determinado, es muy heterogénea, presentándose capas, bolsas, depósitos, etc., tanto horizontal como verticalmente.

Las zonas superficiales en que se instalan la toma de tierra tampoco son uniformes y, además, están afectadas fuertemente por los cambios climáticos, lluvias y heladas. Todo ello hace que la resistividad sea muy variable de un lugar a otro y pueda resumirse en que la modifican, de manera muy notable, los siguientes factores del terreno¹⁶:

- La composición.
- Las sales solubles y su concentración.
- El estado higrométrico.

¹⁶ GARCIA M. Rogelio, puesta a tierra de instalaciones eléctricas, EDITORIALMARCOMBO España, 1999, Pág. 13.

- La temperatura.
- La granulometría.
- La compacidad.
- La estratigrafía.

1.6 MEDICIONES.

1.6.1 MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD APARENTE.

Es importante que la resistividad pueda verificarse en forma tan precisa como sea posible, ya que el valor de resistencia a tierra del electrodo es directamente proporcional a la resistividad del suelo. Si se usa un valor incorrecto de resistividad del terreno en la etapa de diseño, la medida de impedancia del sistema de tierra puede resultar significativamente diferente de lo planeado. Este puede, a su vez, tener serias consecuencias financieras.

La prueba se realiza tradicionalmente usando un medidor de tierra de cuatro terminales. Cuatro estacas se clavan en el suelo como se muestra en el diagrama, separadas una distancia “a” metros. La profundidad de cada estaca se trata de que no exceda “a” dividido por 20 y normalmente es inferior a 0,3 metros. Las dos estacas exteriores se conectan a los terminales de corriente C1 y C2 del instrumento y las estacas interiores, a los terminales de potencial P1 y P2. Ver Figura 15.

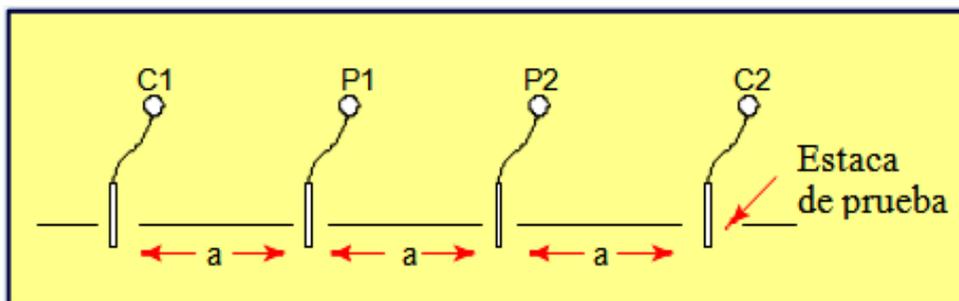


Figura 15.- Medición resistividad aparente

Es importante asegurarse que las estacas de prueba no están insertadas en línea con cables o tuberías metálicas enterradas, ya que estos introducirán errores de medida.

Si “R” es la lectura de resistividad del instrumento, en ohms, para una separación de “a” metros, entonces la resistividad aparente está dada por la siguiente fórmula:

$$\text{Resistividad aparente} = 2\pi Ra \text{ [ohm-metro]} \quad (\text{ec. 1.12})$$

El término “resistividad aparente” se usa ya que la fórmula anterior supone que el terreno es uniforme hasta una profundidad “a” metros bajo el punto central del esquema de medida. Nosotros podemos obtener información respecto de la estructura real del suelo tomando una serie de lecturas, incrementando “a” en pasos de 1 metro hasta una separación de 6 metros, luego en pasos de 6 metros hasta una separación de 30 metros. Para instalaciones de área muy grande, especialmente donde hay roca abajo, puede ser aconsejable lecturas a 50 m, 80 m y aún 100 m de separación de estacas. El instrumento empleado debe ser suficientemente preciso para medir valores de resistencia muy pequeños con estos grandes espaciamientos del orden de $0,01\Omega$ a $0,002\Omega$. Las medidas deben realizarse preferiblemente en un área de terreno razonablemente no perturbado. Típicamente los valores más bajos de “a” darán altos valores de resistividad de suelo porque ellas estarán fuertemente influenciadas por la capa superficial que normalmente drena el agua o su contenido de agua está reducido por el sol y/o el viento. A medida que la distancia “a” aumenta, la resistividad aparente normalmente se reducirá, a menos que exista roca subyacente¹⁷.

1.6.2 MEDICIONES DE RESISTENCIA DE SPT.

La resistencia de puesta a tierra debe ser medida antes de la puesta en funcionamiento de un sistema eléctrico, como parte de la rutina de mantenimiento o excepcionalmente como parte de la verificación de un sistema de puesta a tierra. Para su medición se puede aplicar la técnica de Caída de Potencial, cuya disposición de montaje se muestra en la Figura 16.

¹⁷ MORALES O. Nelson, Sistemas de Puestas a tierra, Editorial CDA 1999, Chile. Pág. 26.

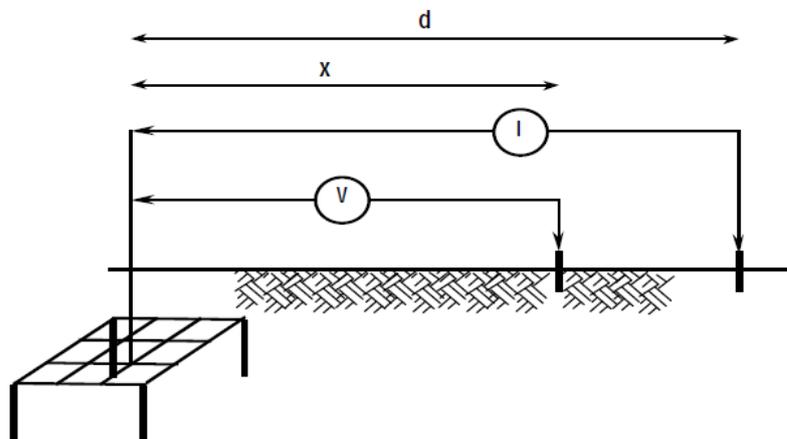


Figura 16.- Esquema de medición de resistencia de puesta a tierra.

En donde,

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 IEEE 81).

x es la distancia del electrodo auxiliar de tensión.

R_{PT} es la resistencia de puesta a tierra en ohmios, calculada como V/I .

El valor de 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. Igualmente, se podrán utilizar otros métodos debidamente reconocidos y documentados en las normas y prácticas de la ingeniería¹⁸.

En líneas de transmisión con cable de guarda, la medida debe hacerse desacoplando el cable de guarda o usando un Telurómetro de alta frecuencia (25 kHz).

1.6.3 MEDICIONES DE TENSIÓN DE PASO O DE CONTACTO.

Las tensiones de paso y contacto calculadas deben comprobarse antes de la puesta en servicio de subestaciones de alta tensión y extra alta tensión, así como en las

¹⁸ RETIE, Reglamento Técnico de instalaciones Eléctricas, Colombia 2008. Pág. 65.

estructuras de transmisión localizadas en zonas urbanas o que estén a menos de 20 m de escuelas o viviendas, para verificar que se encuentren dentro de los límites admitidos. Para subestaciones deben comprobarse hasta un metro por fuera del encerramiento y en el caso de torres o postes a un metro de la estructura.

En la medición deben seguirse los siguientes criterios adoptados de la IEEE-81.2 o los de una norma técnica que le aplique, tal como la IEC 61936-1.

Las mediciones se harán preferiblemente en la periferia de la instalación de la puesta a tierra. Se emplearán fuentes de alimentación de potencia adecuada para simular la falla, de forma que la corriente inyectada sea suficientemente alta, a fin de evitar que las medidas queden falseadas como consecuencia de corrientes espurias o parásitas circulantes por el terreno.

Los electrodos de medida para simulación de los pies deberán tener cada uno una superficie de 200 cm² y ejercer sobre el suelo una fuerza de 250 N.

Consecuentemente, y a menos que se emplee un método de ensayo que elimine el efecto de dichas corrientes, por ejemplo, método de inversión de la polaridad, se procurará que la corriente inyectada sea del 1% de la corriente para la cual ha sido dimensionada la instalación y preferiblemente no inferior a 50 amperios para centrales y subestaciones de alta tensión y 5 amperios para subestaciones de media tensión¹⁹.

Los cálculos se harán suponiendo que existe proporcionalidad para determinar las tensiones máximas posibles.

1.7 NORMAS Y ESTÁNDARES PARA EL SISTEMA DE PUESTAS A TIERRA.

Para los Sistemas de Puesta a Tierra, existen como referencia las siguientes normas y estándares tanto nacionales como internacionales, que en este tema casi siempre coinciden todos los países en sus reglamentaciones en el aspecto de la puesta a tierra.

¹⁹ RETIE, Reglamento Técnico de instalaciones Eléctricas, Colombia 2008. Pág. 66.

Las normas proporcionan los límites de diseño que deben satisfacerse y (conjuntamente con los reglamentos de práctica), explican cómo pueden diseñarse los sistemas de puesta a tierra para ajustarse a ellos. Los sistemas de puesta a tierra en general y más aún este proyecto deben cumplir con las partes aplicables de la última edición de las normas y reglamentaciones internacionales que se indican a continuación:

- En el ámbito internacional, es muy conocido y empleado el grupo de estándares del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers)
- National Electrical Manufacturers Association (NEMA)
- Norma Eléctrica Mexicana (NOM-001, SEDE 2005)
- Norma técnica Colombiana (NTC 2050)
- NCH Eléc. 4/84 Electricidad. Instalaciones interiores en baja tensión - Punto 10 Puesta a tierra.(Norma reglamentaria chilena)
- Recomendaciones del IEEE Std 80-2000 Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- IEEE Std 142-2007 Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.
- IEEE Std 1100-2005 Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment.
- Normas Ecuatorianas de Construcción, Instalaciones Electromecánicas (NEC-10)
- Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 345
- Reglamento de seguridad del trabajo contra riesgos en instalaciones de energía eléctrica (acuerdo No. 013) Ministerio de Trabajo Ecuatoriano.

1.8 CRITERIOS DE DISEÑO DE SPT.

1.8.1 LOS CRITERIOS DE DISEÑO

Hay dos objetivos principales de diseño que deban alcanzarse mediante cualquier sistema de tierra, así como bajo las condiciones normales de fallo. Estos objetivos son²⁰:

- a) Proporcionar los medios para disipar las corrientes eléctricas en la tierra sin exceder los límites de cualquier equipo de operación y.
- b) Para asegurar que una persona en las proximidades de las instalaciones de puesta a tierra no está expuesto al peligro de una descarga eléctrica crítico.

La práctica recomendada es que todo el diseño y la instalación de puesta a tierra sean compatibles con todos los códigos y normas aplicables.

La práctica recomendada es utilizar sistemas de alimentación de corriente alterna con fundamento sólido e instalar EGCs (Equipment Grounding Conductor) aislados (no aislado) en los circuitos que suministran equipos de carga electrónica. Todas las partes de los aparatos metálicos, tales como cajas, estantes, canales y conductos, EGC, y todos los electrodos de puesta a tierra se unen entre sí en un sistema conductor de la electricidad continua. Todos los electrodos de puesta a tierra utilizados para la puesta a tierra del sistema de alimentación, la conexión a tierra de los sistemas de comunicaciones, y la conexión a tierra de los sistemas de protección contra rayos serán efectivamente y permanentemente unido el uno al otro como se requiere por el NEC (National Electrical Code) y NFPA 780 (National Fire Protection Association) (véase la figura 17). Todos los sistemas metálicos deberán estar unidos al sistema de electrodos de puesta a tierra del sistema eléctrico en la entrada de servicio y en cada sistema de energía derivada por separado en las instalaciones. Sistemas metálicos específicos incluidos en este requisito son los principales y el interior de los sistemas de tuberías de agua fría, el sistema estructural de acero de construcción, y cualquier otros electrodos de masa de tierra que pueden estar presentes en las instalaciones.

²⁰ IEEE Std 80-2000 Guide for Safety in AC Substation Grounding, pag. 86

Las partes metálicas de carcasas de equipos y racks, conductos y canalizaciones, y EGC en los locales que puedan ser energizado por corrientes eléctricas (debido a fallas de circuitos, descargas electrostáticas, y relámpagos) deberán estar conectados a tierra por razones de eficacia personal la seguridad, la reducción de riesgo de incendio, equipos de protección y el rendimiento del equipo. Puesta a tierra estos objetos metálicos facilitará el funcionamiento de los dispositivos de protección contra sobrecorriente durante fallas a tierra y permitir que las corrientes de retorno de la interferencia electromagnética (EMI) Filtros y DOCUP, los cuales son de línea a tierra o línea a chasis, conectados a fluir de manera adecuada. Todos los conductos metálicos y canalizaciones en áreas que contengan equipos de carga electrónica deben ser cuidadosamente unidos para formar un conductor eléctrico continuo.

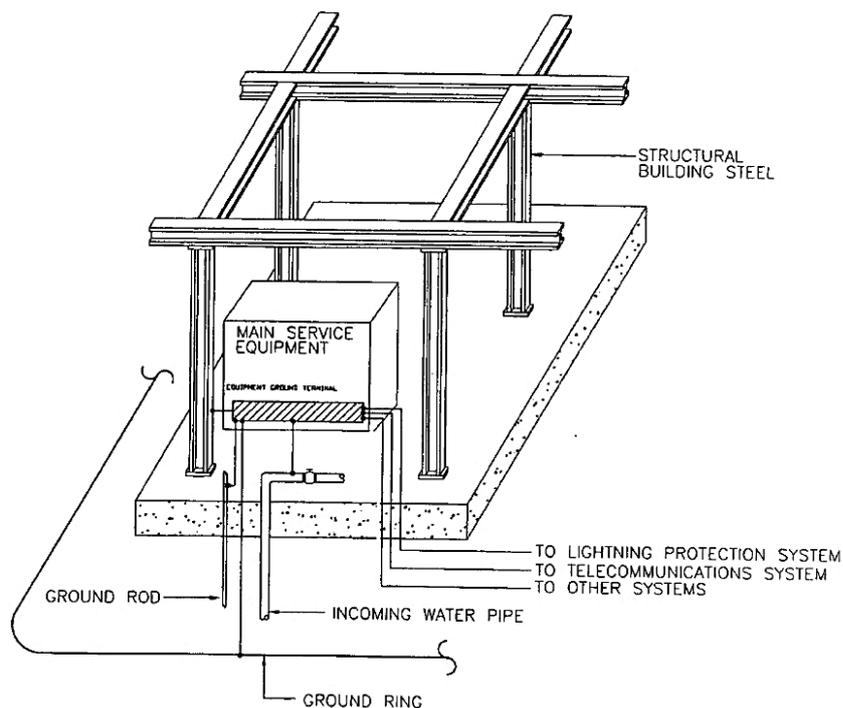


Figura 17.- Interconexión de la construcción de electrodos de puesta a tierra

La práctica recomendada es que todas las conexiones de puesta a tierra y la unión de los sistemas de tuberías metálicas se observaron en los planos eléctricos y mecánicos apropiados. Se recomienda encarecidamente el uso de dibujos claros, estandarizados y detallados para demostrar la intención del diseño para garantizar

una interpretación coherente por el personal de la instalación. Dibujos de los edificios existentes también deben ser revisados por artículos y puestos a tierra que no se observan correctamente. Todos los equipos mecánicos en las áreas de equipos electrónicos deben estar conectados a tierra eficaz para la seguridad eléctrica (NEC), para la protección contra rayos (NFPA 780), y para el control de ruido actual. Dicho equipo (incluido el acero de construcción, armazón estructural metálico, chasis de equipos, tuberías, conductos y conductos eléctricos y canalizaciones) debe estar conectado a tierra o se une al acero de construcción local con frecuencia a tierra directa o superior y medios de unión. Cuando se encuentra en la misma zona que el equipo de carga electrónica, equipo mecánico debe estar unido en múltiples puntos a la misma referencia de tierra como el equipo de carga electrónica. Se recomiendan de calefacción, ventilación, aire acondicionado y equipos de refrigeración de procesos, y la tubería metálica relacionada y conductos eléctricos a unir a la misma tierra de referencia sirve al equipo de carga electrónica²¹.

1.8.2 SISTEMA DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

La instalación de electrodos de puesta a tierra separadas que están intencionalmente no unidos al sistema de electrodos de puesta a tierra del sistema de alimentación está estrictamente prohibido por el NEC. Tales electrodos de conexión a tierra separados típicamente toman la forma de varillas de tierra accionados que están instalados en un intento no autorizado para aislar algunas piezas de equipo de la tierra del sistema de alimentación. Esta técnica de instalación viola el NEC y puede provocar situaciones extremas y peligrosas de tensión que existe entre los objetos de metal diferente a tierra durante las fallas del sistema de alimentación y actividad eléctrica.

Es más fácil para proporcionar un sistema de conexión a tierra fiable para el equipo de carga electrónica alojada en edificios construidos de acero estructural. Los edificios construidos de hormigón armado no son tan efectivos para la puesta a tierra y la unión entre sistemas fuentes derivadas separado situados a distancia

²¹ IEEE Std 1100-2005 Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment.

de la entrada de servicio. A esto se suma, en unas modernas instalaciones que utilicen medios no metálicos para tuberías de agua interior. Cuando acero edificio es accesible, debe estar conectado a tierra con eficacia y unido en una sola masa, eléctricamente conductor. Dicha puesta a tierra y la unión puede ser por medio de conexiones de compresión, accesorios mecánicos, soldadura, atornillado o remachado. El sistema de construcción de acero debe estar unido al conductor de servicio de conexión a tierra (típicamente el neutro) y las EGC en la entrada de servicio, y para el sistema de tuberías de agua fría principal (metálico). Se recomienda puesta a tierra eficaz (puesta a tierra) del sistema estructural de acero de construcción y debe llevarse a cabo por uno o más de los siguientes medios²²:

- a) Por la unión de las barras de armadura que están encerrados en las zapatas de hormigón a los tornillos de anclaje que fijan el acero estructural a su base de hormigón.
- b) Por un sistema de electrodos de puesta a tierra realizado, como un anillo de tierra enterrada conectado en varios puntos al acero del edificio.

1.9 EQUIPOS Y PRUEBAS DE MEDICIÓN EN SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA.

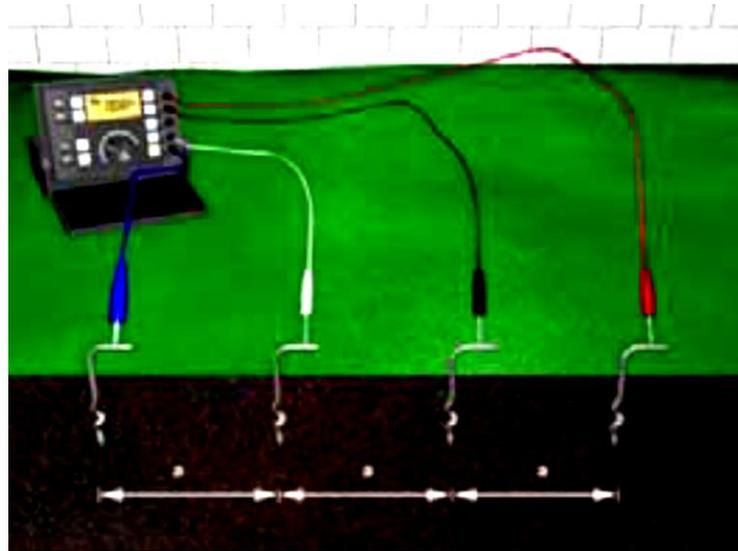
1.9.1 MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DE TIERRA

Se describirá un método para la medición de la resistividad de un terreno, considerando que es homogéneo.

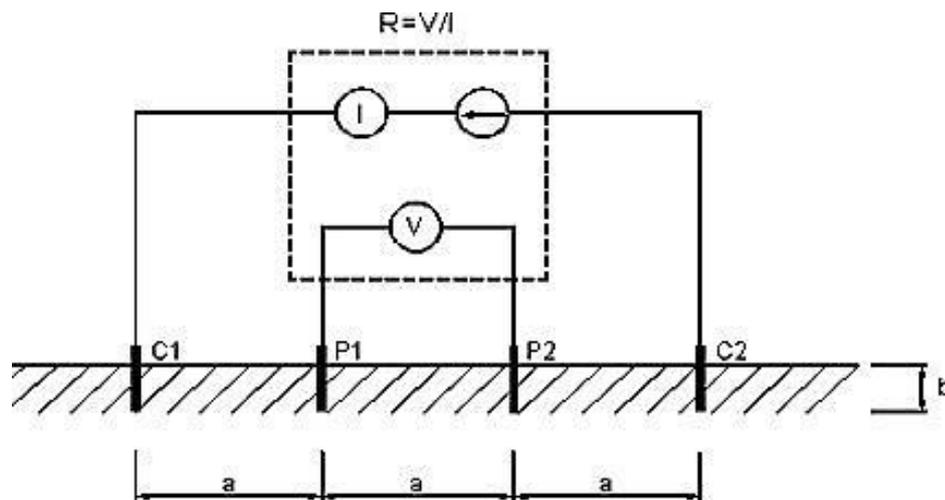
1.9.1.1 MÉTODO DE LOS CUATRO ELECTRODOS O MÉTODO DE WENNER.

Este método fue desarrollado por Frank Wenner del US Bureau Of Standards en 1915 (F. Wenner, A Method of Measuring Earth Resistivity; Bull, National Bureau of Standards, Bull 12(4) 258, s 478-496; 1915/16).

²² IEEE Std 1100-2005 Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment pag. 280



(a) Telurómetro e instalación de Electrodo



(b) Funcionamiento del Método Wenner.

Figura 18.- Método Wenner

En las Figuras 18 (a) y (b) se describe gráficamente el método de Wenner. Estos electrodos deben ser colocados en línea recta a una misma distancia entre ellos, “a”, y a una misma profundidad, “b”. Las mediciones dependerán de la distancia entre electrodos y del contacto de estos con la tierra. La distancia “b” no debe exceder un décimo de la distancia “a”. El método consiste en inyectar una corriente conocida por los electrodos de prueba C1 y C2. Entre los electrodos de prueba P1 y P2 se mide la diferencia de potencial resultante de la inyección de

corriente anterior. Con estos datos se puede calcular la resistencia y el valor de la resistividad del terreno, a una profundidad, “b”, será:

$$\rho = 2\pi a R \longrightarrow b \ll a \quad (\text{ec 1.13})$$

Dónde: ρ = Resistividad promedio a la profundidad, b, (Ohm – m)

π = constante 3.1416

a = distancia entre los electrodos (cm)

R = Resistencia medida por el Telurómetro (Ohm)

Como los resultados de la medición son normalmente afectados por materiales metálicos enterrados, se recomienda realizar la medición varias veces cambiando el eje de los electrodos unos 90°. Cambiando la profundidad y distancia de los electrodos se puede tener un valor de resistividad más aproximado al real y con ello un mejor diseño del sistema de puesta a tierra a construir.

La medición de la resistividad del suelo es comúnmente distorsionada por la existencia de corrientes de tierra y sus armónicas. Para corregir esto, muchos equipos tienen un sistema de control de frecuencia que permite seleccionar la frecuencia de medición con la menor cantidad de ruido y así obtener una medición clara.

1.9.2 MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.

1.9.2.1. MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA MEDIANTE MEDIDOR TIPO PINZA.

Este método de medida es innovador y único. Ofrece la habilidad de medir la resistencia sin desconectar la toma de tierra. Este tipo de medida también ofrece la ventaja de incluir las resistencias de enlace con la tierra y de conexión de toma de tierra total.

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

centros de grandes ciudades, etc. El medidor tipo pinza mide la resistencia de puesta a tierra de una varilla o sistema de puesta a tierra simplemente abrazando el conductor de puesta a tierra o bajante como lo ilustra la Figura 19.

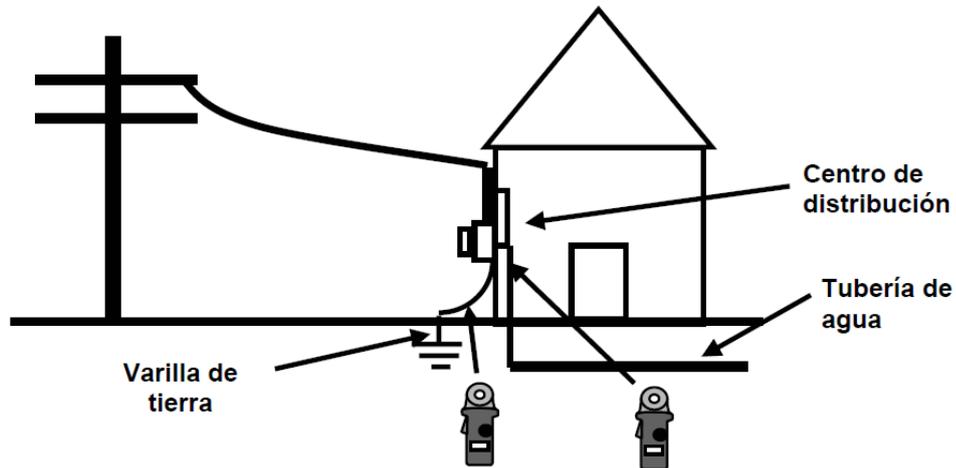


Figura 19.- Medición de la SPT utilizando pinza.

Normalmente, un sistema de toma de tierra de línea de distribución común puede ser simulado como un circuito básico simple como se muestra en la Figura 20 o un circuito equivalente, mostrado en la Figura 21. Si un voltaje E es aplicado a cualquier punto de toma de tierra medido R_x a través de un transformador especial, la corriente I circula a través del circuito, estableciendo así la siguiente ecuación.

$$E/I = R_x + \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}} \quad \text{donde normalmente } R_x \gg \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}} \quad (\text{ec. 1.14})$$

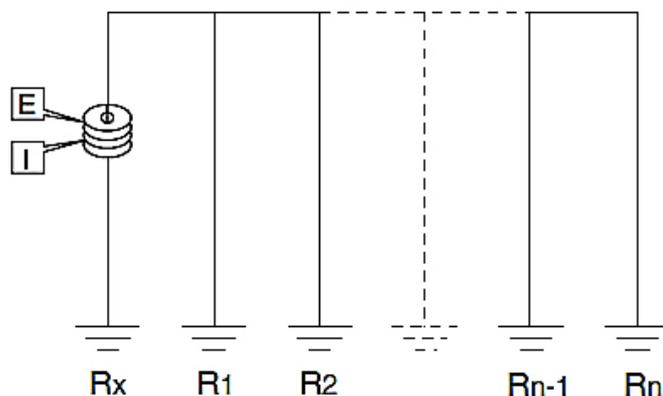


Figura 20.- circuito básico simple.

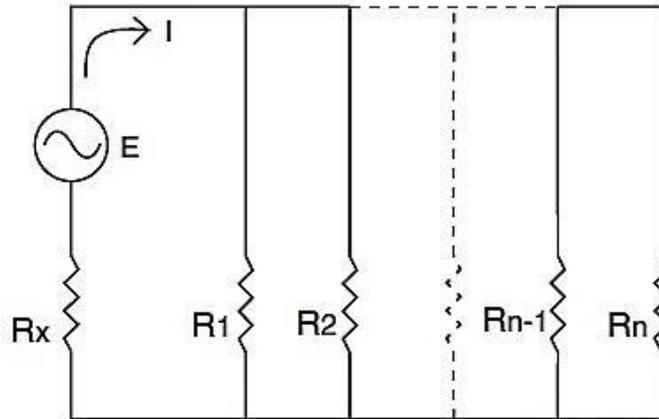


Figura 21.- Circuito equivalente

Así pues, se establece que $E/I = R_x$. Si I es detectada con E constante, la resistencia del punto de toma de tierra medida puede ser obtenida. Refiérase otra vez a las Figuras 20 y 21. La corriente es alimentada al transformador especial a través de un amplificador de potencia desde un oscilador de voltaje constante de 2.4kHz. Esta corriente es detectada por un CT de detección. Sólo la señal de frecuencia 2.4 kHz es amplificada por un amplificador de filtro. Esto ocurre antes de la conversión A/D y después de rectificación síncrona. Es entonces mostrada en el LCD.

El amplificador de filtro es usado para cortar tanto la corriente de tierra a frecuencia comercial como el ruido de alta frecuencia. El voltaje es detectado por cables bobinados alrededor el CT de inyección que es entonces ampliado, rectificado y comparado por un comparador de nivel. Si la pinza no está cerrada adecuadamente, un anunciador de “pinza abierta” aparece en el LCD²³.

²³ AEMC Instruments Libro de Trabajo Rev. 03 Pruebas de resistencia de tierra.

CAPITULO II

DIAGNOSTICO DEL SISTEMA.

2.1 LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO DEL SISTEMA ACTUAL.

El Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano, ubicado al norte de la Ciudad de Quito, es alimentada por el servicio de suministro eléctrico por la Empresa Eléctrica Quito S.A, desde la subestación de Cristiania ubicado en el Inca, por medio de una línea de media tensión de 23KV; el mismo que es alimentado por un transformador cercano a las instalaciones con una potencia de 127 KVA. Proporcionando un voltaje nominal primario/secundario de 23KV/220-127V trifásico.

Además, como sistema de emergencia, existe un grupo electrógeno ubicado junto a las instalaciones y cercano al transformador que concentra la mayor parte de carga instalada (Anexo B), sus características se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8.- Datos del Grupo Electrónico del Sistema de Emergencia

Marca	Caterpillar
Modelo	SX 460
Potencia	50 KW/63 KVA
Voltaje	220 V
Corriente	164 A
Revoluciones	1800 RPM
Factor de Potencia	0.8

Fuente: Laboratorios del CMEE.

Los equipos y elementos de consumo de energía eléctrica existentes que se encuentran distribuidos en los diferentes laboratorios del CMEE, se detalla en su total en la tabla 9.

Tabla 9.- Potencia de los equipos.

Equipo	Cantidad	Potencia nominal [W]	Potencia total [W]
Osciloscopios	05	30	150
Generadores de frecuencia	03	15	45
Contadores de frecuencia	05	5	25
Analizadores de espectros	02	20	40
Analizador de redes	01	25	25
Analizador vectorial	01	20	20
Sistema de control de humedad	01	1,4	1,4
CPU balanza	02	90	180
Humificador	01	450	450
Oscilador de rubidio	03	8	24
Sistema de comparación	01	150	150
Fuentes de voltaje	03	60	180
Contador	01	4	4
Estación de microsoldería	01	30	30
Baño termostático	02	1300	2600
Bloques secos de temperatura	02	1025	2050
Medidores de temperatura	03	7	21
Cuerpos negros	02	1000	2000
Sistema de ventilación	02	450	900
Multicalibradores	02	15	30
Patrón secundario de V y amplificación	01	18	18
Multímetros digitales	02	12	24
Convertidor térmico	01	2500	2500
Cargador de baterías	01	10	10
Computadoras	20	230	4600
Impresoras	02	600	1200
Impresoras pequeñas	02	40	80
Televisor	01	150	150
Calentador de agua	01	300	300
Fluorescentes	66	40	2640
Focos externos	08	60	240
TOTAL POTENCIA [W]			20687,4

Fuente: Laboratorios del CMEE.

El potencia total instalada es de 20,68 kW, a esto se debe tomar en cuenta que los equipos no están funcionando continuamente todo el día, un dato real de la potencia consumida es de 12,8 kW, proporcionado por el CMEE.

2.2 ANÁLISIS DE SPT EXISTENTE.

Actualmente en el Edificio del Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano se tiene constancia de la existencia de 3 varillas de Cooper Wall de tomas a tierra, las mismas que permiten el aterrizaje del sistema eléctrico existente, además se encuentra instalada una jaula de Faraday en las instalaciones donde cuenta con un reloj de rubidio, sus ubicaciones aproximadas puede observarse en los planos Eléctricos detallados del edificio que se muestran en el Anexo “B”.

NOTA: Los datos han sido proporcionados por los archivos del Centro de Metrología, estos datos no se deben considerar como información muy exacta debido a que no se posee ningún registro del diseño del sistema de puesta a tierra.

En la figura 22, se puede visualizar la salida hacia la varilla de Cooper Well ubicada al costado Este de las instalaciones de los Laboratorios del CMEE.



Figura 22.- Salida Hacia la varilla de Cooper Well “A”, costado Este.

En la figura 23, se puede visualizar la varilla de Cooper Well ubicada en la parte posterior al costado Sur de las instalaciones de los Laboratorios del CMEE.



Figura 23.- Varilla de Cooper Well “B”, parte posterior del CMEE.

En la figura 24, se puede visualizar la varilla de Cooper Well ubicada al costado Oeste de las instalaciones de los Laboratorios del CMEE.



Figura 24.- Varilla de Cooper Well “C”, parte lateral Oeste del CMEE.

En la figura 25, se observa la parte superior de la Jaula de Faraday instalada en el laboratorio de tiempo.



Figura 25.- Jaula de Faraday, laboratorio de alta frecuencia del CMEE.

2.3 MEDICIONES.

Existen dos parámetros importantes a la hora de diseñar o realizar mantenimiento de un sistema de puesta a tierra: Resistividad del suelo y resistencia del sistema de puesta a tierra (electrodo, malla, etc.)²⁴

La medición de resistividad es útil para los siguientes propósitos:

- Estimación de la resistencia de Puesta a Tierra de una estructura o un sistema
- Estimación de gradientes de potencial incluyendo voltajes de toque y paso
- Cálculo del acoplamiento inductivo entre circuitos de potencia y comunicación cercanos
- Diseño de sistemas de protección catódica

²⁴ "IEEE Recommended Guide for Measuring Ground Resistance and Potential Gradients in the Earth", IEEE Standard 81-1962.

La medición de la resistencia o impedancia de puesta a tierra así como los gradientes de potencial en la superficie de la tierra debido a corrientes de tierra es necesaria por diferentes razones, entre ellas:

- Determinar la resistencia actual de las conexiones a tierra
- Verificar la necesidad de un nuevo sistema de Puesta a Tierra
- Determinar cambios en el sistema de Puesta a Tierra actual. Se verifica si es posible o no incorporar nuevos equipos o utilizar el mismo sistema de puesta a tierra para protección contra descargas atmosféricas y otros
- Determinar los valores de voltajes de paso y toque y su posible aumento que resulta de una corriente de falla en el sistema
- Diseñar protecciones para el personal y los circuitos de potencia y comunicación.

2.3.1 MEDICIÓN DE LOS VALORES DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.

Para realizar la medición de los valores de resistencia de la puesta a tierra existente en el Centro de Metrología, se empleó el método de la pinza (1.9.2), utilizando el Probador de Pinza para Resistencia de Tierra, modelo 382356 de la marca EXTECH INSTRUMENTS. Ver Figura 26. No se utilizó el método de los cuatro puntos debido a que el espacio físico donde se encuentran la toma de tierra no lo permite.



Figura 26.- Pinza para Resistencia de Tierra, modelo 382356

Este dispositivo permite al usuario medir la resistencia de una varilla del sistema de puesta a tierra, sin el uso de varillas de tierra auxiliares, puede ser usado en sistemas con tierras múltiples sin la necesidad de desconectar la tierra bajo prueba.

2.3.1.1 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.

El equipo descrito es de propiedad de la Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi, éste cuenta con un certificado de calibración expedido del Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano, donde existen patrones de calibración y confirmación metrológica del equipo a ser usado en el campo de prueba. (Anexo C-1)

Por este motivo es recomendable la utilización del el Probador de Pinza para Resistencia de Tierra, modelo 382356 de la marca EXTECH INSTRUMENTS. Los certificados expedidos son de acuerdo a requerimientos de la norma NTE INEN ISO / IEC 17025.

2.3.1.2 PROCEDIMIENTO PARA LA CORRECTA TOMA DE DATOS EN LA MEDICIÓN.

- Abra las terminales de la pinza y revise que todas las superficies estén limpias de polvo y mugre o cualquier otra sustancia extraña. Limpie si es necesario.
- Abra y cierre la pinza varias veces para que se asienten correctamente.
- Encienda el medidor moviendo el conmutador giratorio a la posición ohms [Ω]. NO interrumpa el proceso de inicio abriendo la pinza o colocándola alrededor de un conductor.
- Una vez terminado el procedimiento inicial de calibración, sujete a un electrodo o varilla de tierra y lea el valor de la resistencia de tierra en la pantalla.

Aviso: La precisión de las lecturas será afectada si la pinza no están totalmente cerrada. Dedique atención especial para asegurar que la pinza esté totalmente cerradas antes de empezar la prueba.

Aviso: NO sujete algún conductor o abra la pinza durante la prueba de autocalibración al encender (cuenta regresiva en pantalla CAL 7 a CAL 0)²⁵.

Para el caso de las instalaciones del Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano, se han ubicado 3 varillas de Cooper Well (Anexo B-2), en las cuales se realizaron las respectivas mediciones de resistencia y se detallan en la Tabla 2.3.

Tabla 10.- Valores de Resistencia de Puesta a Tierras existentes.

Ubicación	Valor en Ω
Varilla A	6.05
Varilla B	13.02
Varilla C	11.26

De acuerdo a la tabla 10, se determina realizar un mejoramiento para para el sistema, el cual no cumple con los valores que se requiere para una eficiente operación tal como se especifica en NEC 250.56 (1987).

NOTA: Idealmente una conexión a tierra física debe tener una resistencia de cero ohms, no existe un valor normalizado de resistencia de conexión a tierra física que sea reconocido por todas las agencias. Sin embargo, la NFPA (National Fire Protection Association) y el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) han recomendado un valor de resistencia de conexión a tierra física de 5 ohms o menos. La norma IEEE 142 (1991) “Prácticas recomendadas para la conexión a tierra de sistemas eléctricos industriales y comerciales” sugiere una resistencia de la toma de tierra entre 1 y 5 ohms para sistemas comerciales o industriales de gran tamaño. El NEC ha indicado lo siguiente: “Asegúrese de que la impedancia del sistema a la conexión a tierra física sea de menos de 25 ohms, tal como se especifica en NEC 250.56 (1987). En instalaciones con equipo sensible, debe ser de 5 ohms o menos.” La industria de las telecomunicaciones con frecuencia ha utilizado 5,0 ohms o menos como su valor para conexión a tierra física y unión.

²⁵ Manual del usuario Extech instruments, Probador de pinza para resistencia de tierra MODELO 382356.

2.3.2 MEDICIÓN DE LOS VALORES DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

La resistividad de la tierra es el factor clave que determina cual será la resistencia de un electrodo de toma a tierra, y a que profundidad debe ser enterrada para obtener una resistencia de tierra baja. Esta medida permite elegir, siempre que sea posible, la mejor ubicación y la forma de la toma a tierra antes de que se construya.

Las mediciones se realizaron por el método de Wenner (1.9.1), empleando el Medidor Digital de Resistencia de Puesta a Tierra Fluke 1625 Earth/Ground Tester Ver Figura 2.7.



Figura 27.- Medidor Digital de Resistencia de Puesta a Tierra Fluke 1625

El Telurómetro digital Fluke 1625, realiza las mediciones de puesta a tierra y ensayos de resistividad de los suelos entre otros, es un instrumento de lectura directa, mide desde 0 hasta 300 kΩ, es del tipo auto-alcance, es decir, que forma automática busca la mejor escala de medición para el ensayo a realizar.

2.3.2.1 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.

El equipo descrito es de propiedad de la Empresa Interagua de la ciudad de Guayaquil, éste cuenta con un certificado de calibración expedido del Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano de la ciudad de Quito, donde existen patrones de calibración y confirmación metrológica del equipo a ser usado en el campo de prueba. (Anexo C-4) Por este motivo es recomendable la utilización del Telurómetro digital Fluke 1625.

Los certificados expedidos son de acuerdo a requerimientos de la norma NTE INEN ISO / IEC 17025.

2.3.2.2 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO (MÉTODO DE WENNER).

- Cuatro puntas de masa de la misma longitud se colocan en el terreno en línea recta y separadas a distancias iguales entre sí. Las puntas de masa no deben enterrarse más profundamente que un máximo de máxima de 1/3 de “a”.
- Gire el selector giratorio central hasta la posición “ R_E 4pole”.

El cableado del instrumento debe realizarse de acuerdo con la imagen y las advertencias que aparezcan en la pantalla. Ver figura 28.

Un destello de los símbolos de conexión E ES S H o Y >C , señala una conexión incorrecta o incompleta del cable que se está midiendo²⁶.

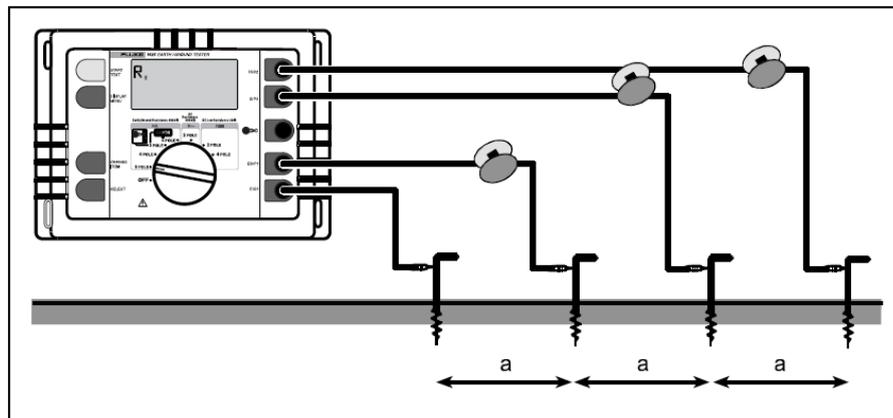


Figura 28.- Cableado Fluke 1625

- Presione el botón “START TEST”.
- Lea el valor medido de R_E .

La toma de valores en la medición se lo debe realizar a campo abierto, sin interferencia alguna de construcciones, tuberías enterradas, entre otros. Ver Figura

²⁶ Manual del usuario fluke Earth/Ground Tester, medidor de resistencia de tierra MODELO 1625.

29. Los valores obtenidos de la resistividad del terreno están afectados por distintos factores, especificados en el ítem 1.5.1.



Figura 29.- Toma de medidas a campo abierto

Para el caso del Centro de Metrología, se han realizado 6 mediciones tomando diferentes distancias entre las piquetas para obtener una resistividad promedio del suelo, las cuales se muestran en la Tabla 11. En la cual los cálculos realizados se basan en la ec. 1.4.

Tabla 11.- Valores de Resistividad del Terreno en el Centro de Metrología.

Medición	T en ° C	Lectura en Ω	Distancia "a" en m.	Resistividad en $\Omega.m$
01	20	24,61	1	154,61
02	20	12,20	1,5	114,98
03	20	7,15	2	89,84
04	20	4,86	2,5	76,84
05	20	3,65	3	68,8
06	20	2,48	4	62,32

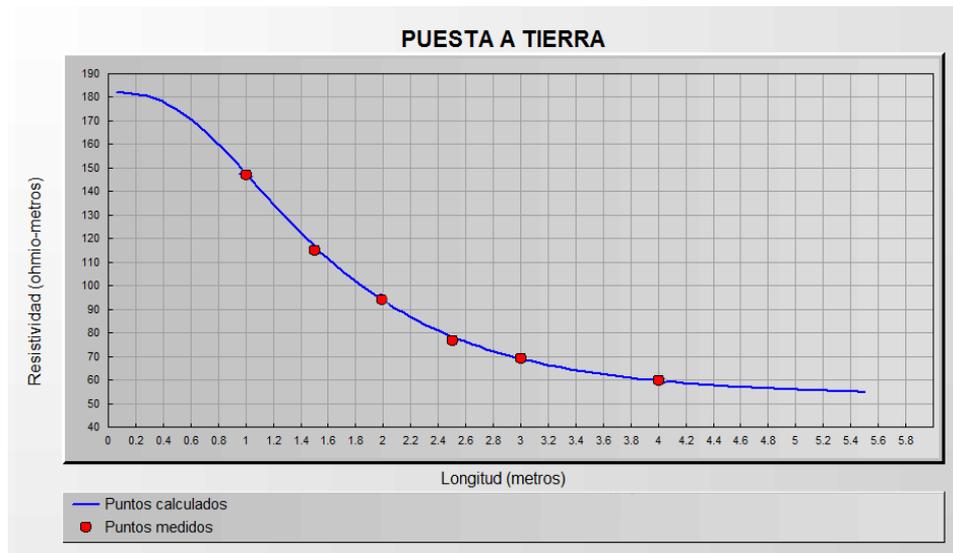


Figura 30.- Grafico resistividad vs. longitud

Se nota claramente en la figura 30 y tabla 11, que existe una estabilidad de resistividad en 76,84 Ω -m, lo cual este valor es tomado como dato y dado que las variaciones de las medidas se dan en el factor “a”, según la tabla 6 se concluye que se trata de un terreno de cultivo.

2.3.3 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

Cuando se está haciendo la medición de la resistencia de pozo a tierra se podría quedar expuesto a gradientes de potencial letales que pueden existir entre la tierra a medir y la tierra remota. Para ello es importante tener muy presente las siguientes recomendaciones²⁷:

- No deben ser realizadas mediciones en condiciones atmosféricas adversas.
- La puesta a tierra debe estar desconectada de las bajantes de los pararrayos, del neutro del sistema y de las tierras de los equipos.
- Se debe utilizar guantes aislados y calzado con suela dieléctrica.
- Adicionalmente se deben conocer los requisitos de seguridad establecidos en la OSHA 1910.269.

²⁷ Manual del usuario fluke Earth/Ground Tester, medidor de resistencia de tierra MODELO 1625.

- Uno de los objetivos de la medición es establecer la localización de la tierra remota tanto para los electrodos de potencial como de corriente; Por tanto, las conexiones de estos electrodos deben ser tratadas como una fuente de posible potencial entre los cables de conexión y cualquier punto sobre la malla. Es importante tener precauciones en la manipulación de todas las conexiones.
- Bajo ninguna circunstancia se deben tener las dos manos o partes del cuerpo humano que complete o cierre el circuito entre los puntos de posible diferencia de alto potencial.
- Se debe procurar que alrededor del electrodo de corriente no haya curiosos ni animales durante la medida.
- Se deberán tener en cuenta además las recomendaciones dadas por el fabricante del equipo y el equipo adecuado para la medición.

2.4 ANÁLISIS DEL SUELO.

Se necesita realizar las mediciones de resistividad en los diferentes sectores a campo abierto para tener una apreciación del suelo, de igual manera que en las mediciones de resistencia de puesta tierra, se realiza según como se indica en el literal 2.3, de acuerdo a los resultados se puede especificar que tenemos un terreno de cultivo en el sector.

En base a estos datos se puede tener la tensión máxima de paso tolerable y máxima de contacto tolerable para este tipo de suelo, para este caso se utilizarán las ecuaciones 1.8 y 1.9 de acuerdo a las normas IEEE-80.

a) Máximo voltaje de paso tolerable:

$$V_p = \frac{116 + 0,696 * 1 * 76,84}{\sqrt{0,5}}$$

$$V_p = 239,68 V$$

b) Máximo voltaje de contacto tolerable:

$$V_c = \frac{116 + 0,174 * 1 * 76,84}{\sqrt{0,5}}$$

$$V_p = 182,95 V$$

Si no se tiene prevista una capa superficial, entonces $\rho_s = \rho$ y $C_s = 1$.

CAPITULO III

PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA

3.1 ESTADO ACTUAL DEL SPT.

Los datos que proporciona el CMEE, acerca del sistema de puesta a tierra existente, son escasos, para poder tener una apreciación real de la malla u otro tipo de aterramiento a tierra, se ve necesario analizar uno a uno las varillas existentes que se encuentran colocadas, que cumplen con el objetivo para el cual fueron instaladas.

Se puede apreciar en los gráficos 22, 23 y 24, el espacio reducido que existe en la instalación de las jabalinas del sistema de puesta a tierra, por ende en el método para la medición del mismo se utiliza directamente la pinza, ya que inclusive a su alrededor se encuentran varias construcciones las cuales perjudicarían la toma de medida al utilizar un método diferente.

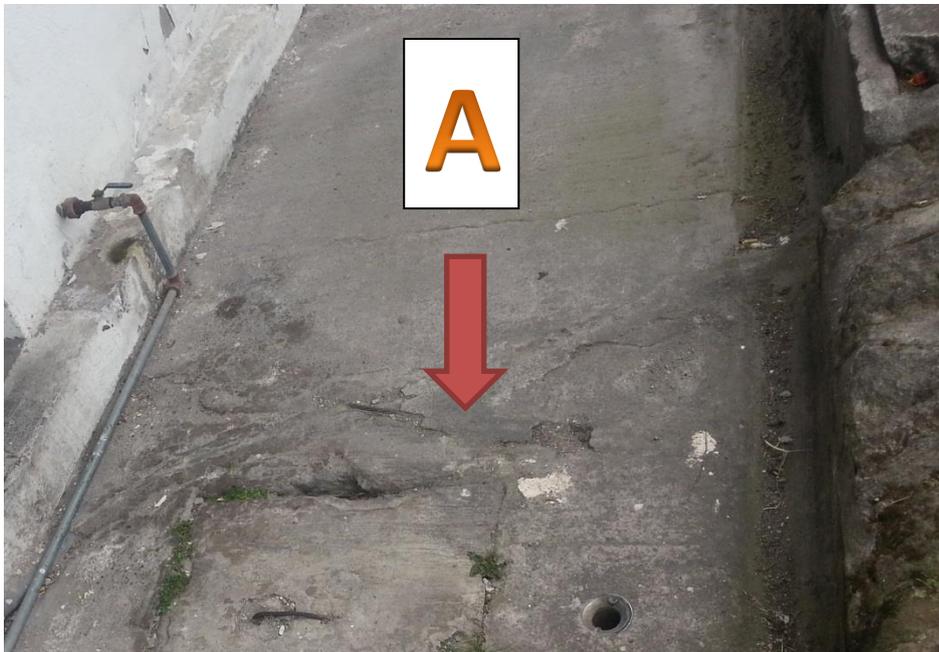


Figura 31.- Varilla cubierta por construcción.

Una a una las varillas son analizadas, y se puede dar cuenta en la figura 31, que corresponde a la varilla A, claramente se aprecia que no se puede tener acceso ni

visibilidad a la misma, ya que se encuentra cubierta por un muro de construcción que cubre en su totalidad la visibilidad.

En este caso no se puede tener un dato real de la medición del sistema ya que no se puede determinar el estado en el cual se encuentra la varilla y sus componentes ya instalados, los únicos datos conocidos fueron proporcionados por el CMEE, que corresponden únicamente a los materiales, $D = 18\text{mm}$; $L = 1,8\text{m}$ y el conductor #8 AWG Cu desnudo.

En la figura 32, se puede apreciar claramente la conexión del conductor con la varilla B, esta no es muy eficiente como se debería ser, además antes de llegar a la conexión existe una bajante de antena conectada al conductor mediante abrazadera, la varilla se nota que no tiene un mantenimiento apropiado, igual que el conductor.



Figura 32.- Conexión a la varilla B.

De igual manera tiene las mismas características que la conexión anterior con datos que corresponden únicamente a los materiales, $D = 18\text{mm}$; $L = 1,8\text{m}$ y el conductor #8 AWG Cu desnudo.

Al igual que la anterior, en la figura 33, podemos apreciar la conexión a la varilla C, claramente identificada con un perno, el cual no es factible para este caso de sistemas de puesta a tierra, y de igual manera se puede dar cuenta la falta de mantenimiento y el deterioro de los elementos que lo conforman así como la presencia de óxido.



Figura 33.- Conexión a la varilla C con perno.

De igual manera, únicamente se sabe los datos que corresponden a los materiales, $D = 18\text{mm}$; $L = 1,8\text{m}$ y el conductor #8 AWG Cu desnudo.

La jaula de Faraday, se sabe que debe ser uniforme para poder tener el efecto que se desea, en este caso en la figura 34, se nota que no tiene uniformidad, así como tampoco existe mallas a dos costados laterales, lo cual hace que no cumpla eficientemente con el objetivo para el cual fue instalada.

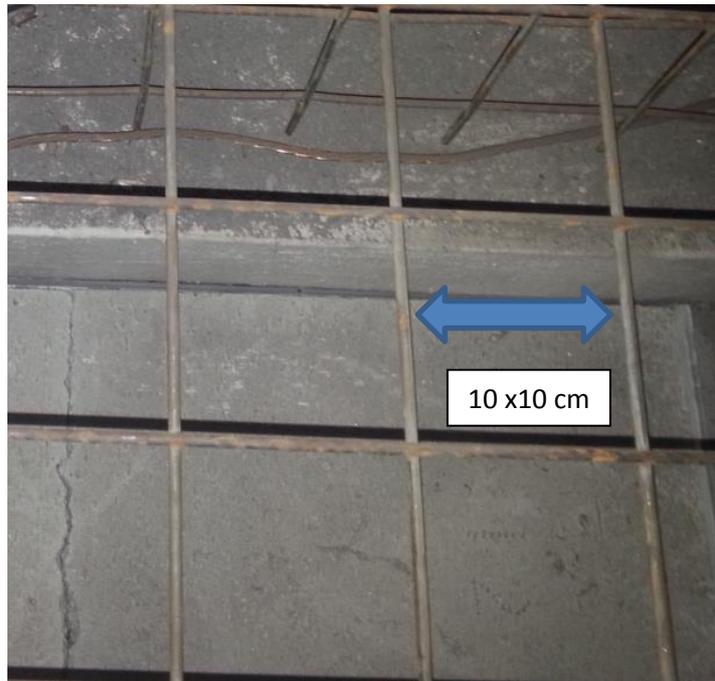


Figura 34.- Apreciación de la Jaula de Faraday.

De igual manera como el sistema de puesta a tierra, no existe plano alguno que pueda determinar las características, mas, solo existen pocos datos los cuales nos detallan que tiene reticulado #2 y # 4 AWG desnudo, y la malla constituida con un vacío de 10x10 cm.

Las mallas laterales que existen a los costados, son parte de las paredes divisorias de la edificación, a lo que en el contorno que rodean al edificio no se tiene un dato exacto de que tiene esta, por lo cual, las paredes que se encuentran en la periferia serrando la jaula no cumple con el objetivo ya que carece de esta.

3.2 DETERMINACIÓN DE ALTERNATIVAS.

Existen distintas alternativas para lograr la reducción de la resistencia eléctrica, aunque todos ellos presentan un punto de saturación que es conveniente conocer para evitar diseños antieconómicos. Los métodos para la reducción son los siguientes²⁸:

- El aumento del número de electrodos en paralelo

²⁸ LAR 400 - Landscape Architecture Studio at North Carolina State University, TECHNICAL STANDARD Grounding.

- El aumento de la longitud de los electrodos y el diámetro de los electrodos
- El aumento de la distancia entre ejes de los electrodos
- El cambio del terreno existente por otro de menor resistividad.
- El tratamiento químico electrolítico del terreno.
- El rediseño o implementación de mallas a tierra.

3.2.1 AUMENTO DEL NÚMERO DE ELECTRODOS EN PARALELO.

La acción de aumentar el número de electrodos conectados en paralelo disminuye el valor de la "Resistencia Equivalente", pero esta reducción no es lineal puesto que la curva de reducción tiene tendencia asintótica a partir del 6to. o 7mo. electrodo y además existe el fenómeno de la resistencia recíproca.

Suponiendo un medio ideal en el que la resistividad del terreno homogéneo es de 600 Ω -m y se clava un electrodo estándar de 2.4 m.

$$R = (\rho/2\pi l) * \ln(2l/d) \quad (\text{ec. 3.1})$$

Dónde: $(\ln 2l/d)/2\pi l$ se considera = K y operamos la fracción vale 0.49454 por lo tanto $R = 600 \times 0.49454 \approx 300 \Omega$.

Según la ecuación 3.2 de sumatoria de resistencias en paralelo, al aumentar un electrodo (el segundo) obtendríamos aproximadamente 150 Ω al aumentar un tercero 100 y para llegar a 5 Ω tendríamos que clavar 60 electrodos tal como se muestra en la figura 35.

$$5\Omega = \frac{1}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_n}} \quad (\text{ec. 3.2})$$

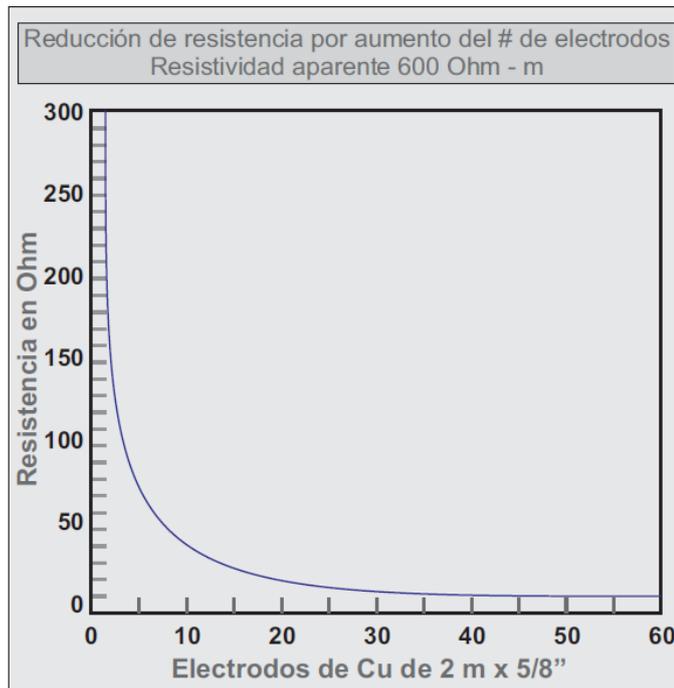


Figura 35.- Reducción de resistencia por aumento de electrodos.

3.2.2 EL AUMENTO DE LA LONGITUD Y EL DIÁMETRO DE LOS ELECTRODOS

Aumentando la longitud de penetración del electrodo en el terreno es posible alcanzar capas más profundas, en el que se puede obtener una resistividad muy baja si el terreno presentara un mayor porcentaje de humedad o al contrario una resistividad .muy alta si el terreno fuera rocoso y pedregoso, que las presentadas en las capas superficiales.

Por otro lado la resistencia de un electrodo de sección circular se reduce al incrementarse su diámetro, sin embargo tiene un límite en el que ya no es recomendable aumentarlo debido a que el valor de la resistencia del terreno permanece prácticamente constante.

Para un electrodo de 5/8" (1.6 cm) de diámetro, se quisiera incrementar su conductancia, se puede añadir helicoidales de cable 1/0 AWG, cuyo diámetro de espiras tendrá un diámetro de 18 cm, y la separación entre éstas sea de 20 cm, lográndose una, reducción de 30% de la resistencia; es decir, el diámetro del

electrodo creció de 1.6 cm (5/8") a 18 cm, lo que equivaldría a utilizar un electrodo de 7".

3.2.3 EL AUMENTO DE LA DISTANCIA ENTRE EJES DE LOS ELECTRODOS

Normalmente la distancia entre ejes de los electrodos debe ser $\geq 2L$ siendo L la longitud del electrodo; pero en los casos donde se requiera obtener resistencias eléctricas muy bajas y exista disponibilidad de área de terreno, las distancias entre ejes de los electrodos, deberán ser lo máximo posible; pues a mayor distancia entre ejes de electrodos, mayor será la reducción de la resistencia a obtener; y ello por el fenómeno de la resistencia mutua entre electrodos.

3.2.4 CAMBIO DEL TERRENO

Los terrenos pueden ser cambiados en su totalidad, por terreno rico en sales naturales; cuando ellos son rocosos, pedregosos, calizas, granito, etc., que son terrenos de muy alta resistividad y pueden cambiarse parcialmente cuando el terreno está conformado por componentes de alta y baja resistividad; de modo que se supriman las partes de alta resistividad y se reemplacen por otros de baja resistividad; uno de estos procedimientos es el zarandeo del terreno donde se desechan las piedras contenidas en el terreno.

El cambio total parcial del terreno deberá ser lo suficiente para que el electrodo tenga un radio de buen terreno que sea de 0 a 0.50 m en todo su contorno así como en su fondo.

La resistencia crítica de un electrodo se encuentra en un radio contorno que va de 0 a 0.5 m de este, por lo que se tendrá sumo cuidado con las dimensiones de los pozos para los electrodos proyectados.

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

Para lugares de alta resistividad donde se cambie el terreno de los pozos en forma total, el porcentaje puede estar entre 50 a 70% de reducción de la resistencia eléctrica resultante.

Para terrenos de media resistividad donde se cambie el terreno de los pozos en forma parcial o total, el porcentaje de reducción puede estar como sigue:

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

Para terrenos de baja resistividad donde se cambiará el terreno de los pozos en forma parcial, el porcentaje de reducción puede estar entre 20 a 40 % de la resistividad natural del terreno.

La saturación en este caso se dará si cambiamos mayor volumen de tierra que la indicada, los resultados serán casi los mismos y el costo será mucho mayor, lo cual no se justifica.

3.2.5 TRATAMIENTO QUÍMICO DEL SUELO

El tratamiento químico del suelo surge como un medio de mejorar y disminuir la resistencia eléctrica del SPT sin necesidad de utilizar gran cantidad de electrodos.

Para elegir el tratamiento químico de un SPT se deben considerar los siguientes factores:

- Alto porcentaje de reducción inicial.
- Facilidad para su aplicación.
- Tiempo de vida útil (del tratamiento y de los elementos del SPT).
- Facilidad en su reactivación.
- Estabilidad (mantener la misma resistencia durante varios años)

Las sustancias que se usan para un eficiente tratamiento químico deben tener las siguientes características:

- Higroscopicidad
- Alta capacidad de gelificación
- No ser corrosivas
- Alta conductividad eléctrica
- Químicamente estable en el suelo
- No ser tóxico
- Inocuo para la naturaleza

Existen diversos tipos de tratamiento químico para reducir la resistencia de un SPT los más usuales son²⁹:

- Las sales puras (cloruro de sodio) no actúan como un buen electrolítico en estado seco, por lo que se le incorpora carbón vegetal con el fin de que este sirviera como absorbente de las sales disueltas y de la humedad.
- Las bentonitas molidas son sustancias minerales arcillosas que retienen las moléculas del agua, pero la pierden con mayor velocidad que con la que la absorben, debido al aumento de la temperatura ambiente. Al perder el agua, pierden conductividad y restan toda compactación, lo que deriva en la pérdida de contacto entre electrodo y el medio, elevándose la resistencia del pozo ostensiblemente. Una vez que la bentonita se ha armado, su capacidad de absorber nuevamente agua, es casi nula.
- El THOR-GEL, es un compuesto químico complejo, que se forma cuando se mezclan en el terreno las soluciones acuosas de sus 2 componentes. El compuesto químico resultante tiene naturaleza coloidal, y es especial para el tratamiento químico electrolítico de las puestas a tierra, este componente viene usándose mayormente por sus muy buenos resultados, debido a que

²⁹ MANUAL DE PUESTAS A TIERRA THOR-GEL, Prolongación Lucanas 187 Lima 13 – Perú

posee sales concentradas de metales que neutralizan la corrosión de las sales incorporadas, como también aditivos para regular el PH y acidez de los suelos. Este compuesto posee otra ventaja que al unirse en el terreno se forma un compuesto gelatinoso que le permite mantener una estabilidad, química y eléctrica por aproximadamente 4 años. El método de aplicación consiste en incorporar al pozo los electrolitos que aglutinados bajo la forma de un Gel, mejoren la conductibilidad de la tierra, y retengan la humedad en el pozo, por un período prolongado. De esta manera se garantiza una efectiva reducción de la resistencia eléctrica, y una estabilidad que no se vea afectada por las variaciones del clima.

3.2.6 EL REDISEÑO O IMPLEMENTACIÓN DE MALLAS A TIERRA.

Una Malla de tierra, es una adecuación que se le hace a un terreno para instalar o mejorar el sistema de tierras. Es utilizado para enviar una descarga eléctrica, hacia una zona de menor resistencia eléctrica, y así evitar que dicha descarga vaya directamente a cualquier cosa conectada a la línea del suministro eléctrico, que represente cierta cantidad de ohms de resistencia, un valor considerado adecuado para una malla a tierra es de aproximadamente 1 a 2 ohms.

3.3 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO.

Por ser una norma de amplia difusión, se va a tomar en cuenta los pasos esenciales para diseñar una puesta a tierra según esta metodología. Las ecuaciones utilizadas para los cálculos son tomadas del estándar 80 de la IEEE.

Para la propuesta de mejoramiento es necesario obtener datos de campo como se detallan a continuación, los mismos que se utilizaran en los diferentes cálculos posteriores.

Datos de campo del Transformador:

$$P = 127 \text{ KVA}$$

$$V_{L-L \text{ en } AV} = 23 \text{KV}$$

$$V_{L-L \text{ en } BV} = 220 \text{V}$$

$$Z = 4\%$$

Datos para la malla:

$$\rho = 76,84 \Omega\text{-m}$$

$$A = 6 \times 6 \text{ m.}$$

$$h = 0,5 \text{ m.}$$

$$t_s = 0.5 \text{ seg.}$$

3.3.1 CALIBRE DEL CONDUCTOR

Para calcular el calibre del conductor es necesario conocer los valores de corriente de falla máximos para el diseño.

Cuando las instalaciones son de pequeña potencia, por ejemplo, subestaciones de transformación que alimentan industrias, en muchos casos sucede que los sistemas están alimentados por transformadores de potencia, la reactancia total hasta el transformador no es conocida y, en general, resulta prácticamente imposible de determinar.

La norma ANSI/IEEE 141-1986 del IEEE presenta unos ejemplos prácticos para realizar este cálculo empleando las siguientes ecuaciones:

La corriente máxima en el secundario (I_{sec}):

$$I_{sec} = \frac{KVA*1000}{\sqrt{3}*E} \quad (\text{ec. 3.2})$$

$$I_{sec} = \frac{127*1000}{\sqrt{3}*220}$$

$$I_{sec} = 333,28A$$

La corriente de cortocircuito simétrica máxima (I_{cc-max}):

$$I_{cc-max-sec} = \frac{100\%}{Z\%} * I_{sec} \quad (\text{ec. 3.3})$$

$$I_{cc-max-sec} = \frac{100}{4} * 333,28 A$$

$$I_{cc-max-sec} = 8332 A$$

La corriente de cortocircuito en el primario se puede obtener con la relación de transformación (N):

$$I_{cc-max-pri} = N * I_{cc-max-sec} \quad (\text{ec. 3.3})$$

$$I_{cc-max-pri} = \frac{\sqrt{3} * 220}{23000} * 8332 A$$

$$I_{cc-max-pri} = 138,03 A$$

La corriente de cortocircuito asimétrica del secundario:

$$I_{cc-asim} = I_{cc-max} * F_{asim} \quad (\text{ec. 3.4})$$

$$I_{cc-asim} = 8332 * 1,25$$

$$I_{cc-asim} = 10415 A$$

F_{asim} = Factor de asimetría = 1.25 (factor que depende de la relación X/R en el punto de falla)³⁰

Tomando en cuenta las normas nacionales (NEC 250-81 y Empresa Eléctrica Quito) e internacionales (IEEE Std. 80) el mínimo conductor a usarse en sistemas de protección a tierra es el cable de cobre #2 AWG (33.54mm^2) de siete hilos, con el fin de mejorar la rigidez mecánica de la malla y soportar la corrosión.

El otro factor que define la sección del conductor es el tiempo de duración de la falla que se fija para esta determinación en 0,5 segundos³¹. Este tiempo es un valor promedio utilizado en la mayoría de cálculos para mallas de puesta a tierra.

La malla se realizará utilizando suelda exotérmica, por lo cual el valor de conductividad del conductor es del 97% según la tabla 3.

La sección de conductor a utilizar se determina con la ecuación (3.5)

$$A_{mm^2} = \frac{I * K_f \sqrt{t_c}}{1,9740} [mm^2] \quad (\text{ec. 3,5})$$

³⁰ IEEE Std 141-1986, Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants, Capítulo 6

³¹ DÍAZ Pablo, Soluciones Prácticas para la puesta a tierra de sistemas eléctricos de Distribución, página 301

Dónde:

I = Corriente de falla a tierra en el secundario [kA]

t_c = Tiempo de despeje de la falla (s)

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

Entonces:

Con la corriente de cortocircuito asimétrica del secundario que es la más elevada se selecciona el conductor a utilizar, aplicando la ec. 3.5

$$A_{mm^2} = \frac{10,415 * 7,06 * \sqrt{0,5}}{1,9740} = 26,32 [mm^2]$$

El diámetro del conductor es 26,32mm², que corresponde al conductor de cobre #3 AWG de siete hilos de diámetro 26,66 mm², según la tabla 4. Hay que considerar que las características del cable en cuanto a diámetro y capacidad en amperios varían según el fabricante y que la norma permite como mínimo un conductor #2 AWG.

3.3.2 DISEÑO BÁSICO.

Longitud del conductor horizontal:

$$L_C = \left(\frac{L_1}{D} + 1\right) * L_2 + \left(\frac{L_2}{D} + 1\right) * L_1 [m] \quad (\text{ec. 3.6})$$

Dónde:

L₁ = Largo de la malla [m]

L₂ = Ancho de la malla [m]

D = Lado de la cuadrícula o espaciamiento entre conductores [m]

Longitud total del conductor:

$$L_T = L_C + N * L_V [m] \quad (\text{ec. 3.7})$$

Dónde:

L_V = Longitud de un electrodo tipo varilla [m]

N = Número de electrodos tipo varilla

L_C = Longitud del conductor horizontal [m]

L_T = Longitud total del conductor [m]

La longitud del electrodo tipo varilla (L_V) es 1.8m por Norma de la Empresa Eléctrica Quito. El espaciamiento entre los electrodos tipo varilla debe ser por lo menos 2 veces su longitud. La distancia D entre conductores varía entre 3 a 15 m.

La longitud del conductor horizontal se calcula con la ecuación 3.7, cuando se usan mallas cuadradas o rectangulares según la configuración de la figura 36.

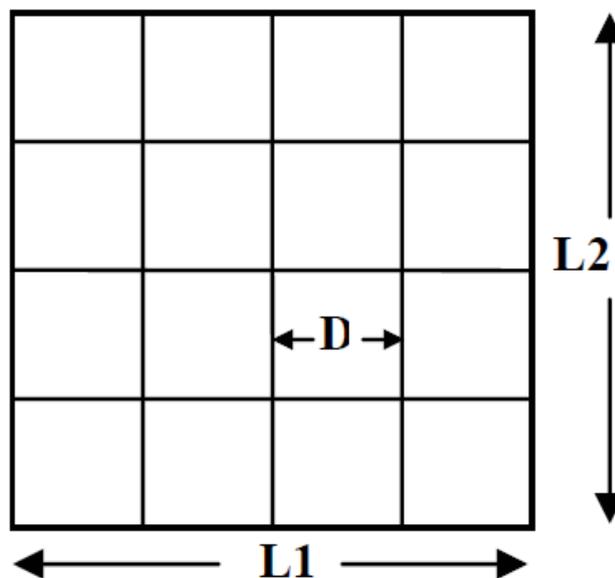


Figura 36.- Configuración de mallas a tierra.

La separación entre electrodos debe ser por lo menos dos veces su longitud para que no interfieran los campos magnéticos que se generan en ellos, de ahí que la distancia entre electrodos tipo varilla debe ser $2 * 1,8 = 3,6\text{m}$, pero en este caso estarán separados a 3 m, q es la mínima distancia q permite la norma.

Datos para la malla:

$L_1 = 6 \text{ m}$

$$L_2 = 6 \text{ m}$$

$$D = 3 \text{ m}$$

$$N = 4$$

$$L_v = 1.8 \text{ m}$$

$$L_C = \left(\frac{6}{3} + 1\right) * 6 + \left(\frac{6}{3} + 1\right) * 6 [m]$$

$$L_C = 36m.$$

$$L_T = 36 + 9 * 1,8 [m]$$

$$L_T = 52,2m.$$

3.3.3 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA R_g EN OHMIOS

Para éste cálculo se aplica la ecuación 3.8.

$$R_g = \rho * \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20 * A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h * \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] [\Omega] \quad (\text{ec.3.8})$$

Dónde:

R_g = Resistencia de puesta a tierra calculada [ohm]

A = Área de la malla [m^2]

h = Profundidad de enterramiento de los conductores [m]

ρ = Resistividad aparente del terreno tomado como un suelo uniforme [Ω -m]

L_T = Longitud total del conductor [m]

$$R_g = 76,84 * \left[\frac{1}{52,2} + \frac{1}{\sqrt{20 * 36}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,5 * \sqrt{\frac{20}{36}}} \right) \right]$$

$$R_g = 6,42 [\Omega]$$

La resistencia teórica de la malla, está cercano a los valores de la norma, de ser necesario y se necesite reducir aún más el valor, se puede variar las dimensiones de la malla, aumentar el número de conductores de puesta a tierra, aumentar la profundidad de enterramiento de los conductores o dar un tratamiento químico al terreno. Figura 37.

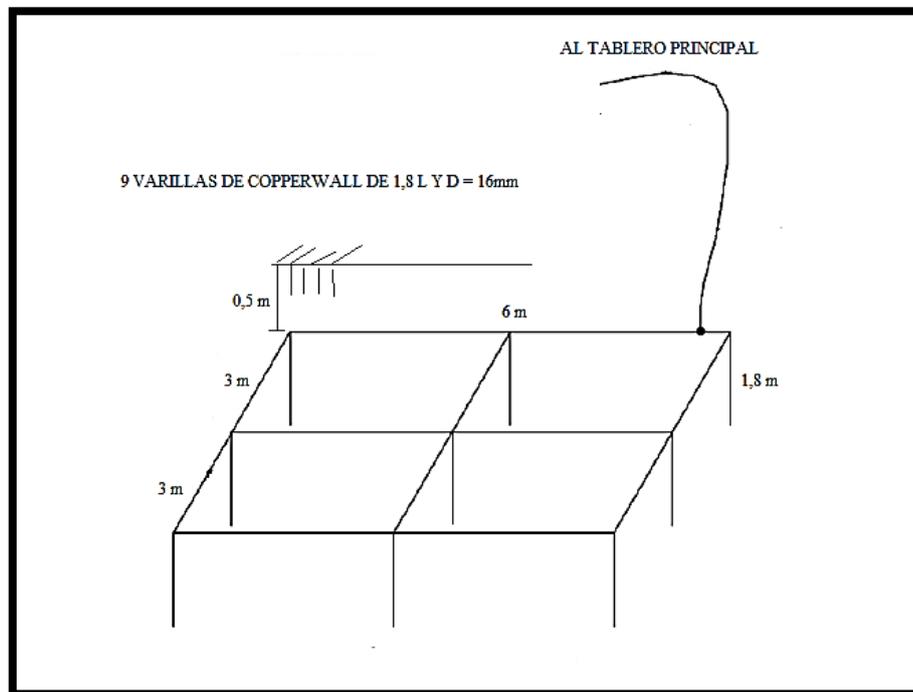


Figura 37.- Malla propuesta (Anexo D).

3.3.4 ACCIONES DE MEJORA

Para realizar el mantenimiento y medición con facilidad, el Código Eléctrico Ecuatoriano recomienda colocar una caja de inspección cuadrada de 0.35 x 0.35m o circular de 0.35m de diámetro. La tapa debe construirse en concreto o lámina corrugada, con una manija para levantarla. Figura 38.

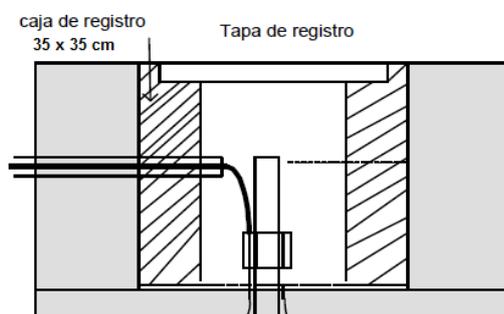


Figura 38.- Caja de registro de hormigón.

Para mejorar el valor de resistencia de puesta a tierra se recomienda colocar compuestos químicos en el terreno como por ejemplo THOR-GEL que es un acondicionador de tierra para mejorar la resistividad del suelo.

El tratamiento consiste en incorporar al pozo los electrolitos que aglutinados bajo la forma de un Gel mejora la conductividad de la tierra y retenga la humedad en el pozo por un periodo prolongado de manera que se garantice una efectiva reducción de la resistencia eléctrica y una estabilidad que no se vea afectada por las variaciones del clima. La cantidad de dosis por metro cúbico de tierra del SPT, varía de 1 a 3, y está en función a la resistividad natural del terreno. Tabla 12.

La saturación en el tratamiento químico se presenta en la tercera dosis por metro cubico Esta dosificación se aplica igualmente en el tratamiento de las zanjas de interconexión.

Tabla 12.- Porcentaje de reducción THOR-GEL

RESISTENCIA INICIAL EN Ω	% DE REDUCCIÓN	RESISTENCIA FINAL EN Ω
600	95	30
300	85	45
100	70	30
50	60	20
20	50	10
10	40	6

Fuente: Manual THOR-GEL

Según el ítem 3.3.3 se tiene una resistividad calculada de $6,42\Omega$, para lo cual aplicando la tabla 12, podemos reducir considerablemente la misma un 40%, obteniendo una resistividad final de $3,85\Omega < 5\Omega$, que es lo que se busca.

3.3.5 SUELDA EXOTÉRMICA.

El proceso de la soldadura exotérmica es un método de hacer conexiones eléctricas de cobre a cobre o de cobre a acero sin requerir ninguna fuente exterior de calor o de energía.

En este proceso, se enciende el polvo granular metálico en un molde de alta temperatura. Este proceso de ignición de las partículas (reacción exotérmica) produce una temperatura superior a 1,400 grados centígrados y en consecuencia la liberación de humo localizado. El metal líquido de cobre fluye en la cavidad de la soldadura, llenando cualquier espacio disponible. Puesta en marcha la ignición el proceso se completa en torno de 30 segundos. La soldadura deberá entonces enfriar y solidificar. Se retira el molde y estará listo para la siguiente soldadura.

Las conexiones de soldadura exotérmica producen una unión permanente (o conexión) superior en funcionamiento comparado con cualquier conector mecánico o conector tipo presión superficie con superficie ver figura 39.

Conexiones de soldadura exotérmicas no liberalizarán ni aumentarán en resistencia sobre la vida de la instalación³².

Según lo recomendado por las regulaciones del IEC y del IEEE, todos los sistemas de conexiones de tierra deberán hacerse con soldadura exotérmica. Las conexiones deberán incluir, pero no limitarse a, todo cable con empalmes de cable, T's, X's, etc.; todo cable a electrodos de tierra, cable a superficie de acero y hierro fundido; barra a superficie de acero.



Figura 39.- Proceso exotérmico.

³² MORENO O. German, VALENCIA V. Jaime, Fundamentos e ingeniería de puestas a tierra, Editorial Antioquia, Colombia 2007.

La suelda exotérmica es fundamental para la mejora del sistema de puesta a tierra existente en los laboratorios del centro de metrología, ya que al momento solamente se mantiene unido a la varilla con un perno, lo cual no es recomendable como lo especifica las normas IEEE 80 para puestas a tierra.

3.3.6 JAULA DE FARADAY

En la instalación de la jaula de Faraday, se debe tener uniformemente constituida para que pueda brindar un recinto cerrado contra un campo electrostático externo, basta con que el material de construcción de la jaula sea un gran conductor eléctrico, al cumplirse este requisito la jaula se convierte en una superficie y puede demostrarse que el campo eléctrico en el interior de la misma es nulo, esta debe cumplir con ciertos requisitos:

- Evitar que un campo eléctrico externo ingrese al interior de la Jaula de Faraday.
- Proteger al personal de operación y visitantes del campo eléctrico producido en el interior de la misma o exterior de la misma.

El blindaje electromagnético puede realizarse con el uso de láminas o mallas metálicas, en este caso el blindaje se lo realiza a través de mallas metálicas y se debe recubrir el techo, las paredes y el piso que en este caso estaría conectado a la malla a tierra existente, las mallas se unen unas a otras por medio de soldadura o uniones entrelazadas con alambres de la malla de tal forma que garantice una buena conexión y continuidad.

La atenuación lograda para cada frecuencia se presenta como una función de las dimensiones del recinto blindado, el calibre del alambre que forma la malla, el espaciamiento entre alambres y la conductividad eléctrica del material de la malla.

El blindaje debe quedar conectado a tierra, al conectar a tierra el blindaje debe respetar dos reglas importantes³³:

³³ Navarro A., "Blindaje Electromagnético de Quirófanos y Salas de Terapia Intensiva", 1555 --Electrolatina, 1974.

- El blindaje debe estar conectado a la misma tierra del circuito eléctrico que penetra en el interior del mismo.
- La conexión a tierra del blindaje y la del circuito contenido en el interior del mismo, debe efectuarse en un punto común, este punto debe estar situado lo más cerca posible a la toma de tierra principal de la instalación eléctrica y a partir del mismo el blindaje debe quedar aislado de los cables de tierra del circuito eléctrico.

Con los antecedentes se puede deducir en base al diagnóstico de la jaula de Faraday existente, que:

- Se deben colocar mallas a los costados en los que carecen de ella.
- Las uniones entre las malla deben ser soldadas para tener mayor continuidad.
- Se debe verificar si las conexiones cumplen con lo estipulado en las reglas del blindaje.

3.4 EVALUACIÓN DEL COSTO

Realizadas las mediciones del sistema de puesta a tierra existente y tomando en cuenta el valor del mismo, se procedió a la realización de la propuesta de mejoramiento para la construcción de una malla que reemplazará el actual sistema de puesta a tierra.

Para realizar las uniones de la malla se debe usar suelda exotérmica, existen 9 puntos en total para construir una malla con las dimensiones indicadas en el ítem 3.3.

El valor del costo total de la malla, tomando en cuenta la mano de obra necesaria para implementación de la misma, se muestra en la tabla 13.

Tabla 13.- Rubros de la instalación.

Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	P. Total (USD)
Materiales				
Cable de cobre desnudo semiduro #2 AWG 7 hilos	m	53	6,843	362,68
Varillas de cooper well de 1,8 m. de longitud	u	9	7,48	67,32
Caja de revisión (0.35x0.35x1)	m ³	1	40	40
Punto de suelda exotérmica	u	9	25	225
Compuesto de aterramiento	dosis	7	28,94	202,58
Carbón vegetal	m ³	1,5	39	58,5
Conexión al tablero	u	1	50	50
Mano de obra				
Instalación del sistema	-	1	600	800
Mediciones del sistema	-	1	200	200
Subtotal:				2006,08
12%				240,72
Total:				2246,80

3.5 MANTENIMIENTO

El mantenimiento de los sistemas de tierra normalmente forma parte del mantenimiento de todo el sistema eléctrico en su conjunto. La calidad y frecuencia del mantenimiento debe ser suficiente para prevenir daño, en la medida que sea practicado razonablemente³⁴.

La frecuencia del mantenimiento y la práctica recomendada en cualquiera instalación depende del tipo y tamaño de la instalación, su función y su nivel de voltaje. Por ejemplo, se recomienda que las instalaciones domésticas se prueben cada cinco años y las instalaciones industriales cada tres. Los locales con acceso de público requieren inspección más frecuente y dentro de los que requieren una inspección anual están los teatros, cines y lavanderías.

Todos los tipos de instalaciones deben ser objeto de dos tipos de mantenimiento:

³⁴ OSORIO Nelson M. Ing. Civil electricista; Pro-cobre; Manual Técnico de sistemas de puesta a tierra; Primera edición;1999

- Inspección a intervalos frecuentes de aquellas componentes que son accesibles o que pueden fácilmente hacerse accesibles.
- Examen, incluyendo una inspección más rigurosa que aquella posible por el primer tipo, incluyendo posiblemente prueba.

3.5.1 INSPECCIÓN

La inspección del sistema de tierra en una instalación normalmente ocurre asociada con la visita para otra labor de mantenimiento. Consiste de una inspección visual sólo de aquellas partes del sistema que pueden verse directamente, particularmente observando evidencia de desgaste, corrosión, vandalismo o robo.

En lo que sigue se resume el procedimiento en diferentes instalaciones:

- Instalaciones domésticas y comerciales. La inspección normalmente toma lugar asociada con otro trabajo en el local, por ejemplo, mejoramiento del servicio, extensiones, etc. El eléctrico no sólo debe inspeccionar concienzudamente, sino también recomendar cambios donde quede claro que una instalación no satisface las normas correspondientes. La revisión particular recomendada, consiste en asegurar que la conexión entre los terminales de tierra del proveedor y del cliente es de dimensión suficiente para cumplir la reglamentación.

3.5.2 EXAMEN

El examen de un sistema de tierra normalmente es parte del sistema eléctrico en su conjunto. Este consiste de una muy rigurosa y detallada inspección del sistema de tierra global. Aparte de observar lo obvio y normal, el examinador revisará si el sistema satisface las normas de puesta a tierra vigentes. Además de esta inspección rigurosa, el sistema debe probarse, como se indica, de acuerdo al tipo de instalación:

- Instalaciones domésticas y comerciales. El examen de estas instalaciones por parte de un contratista eléctrico se hace normalmente a solicitud del

cliente. La norma británica BS 7671 recomienda que este se realice con frecuencia no inferior a una vez cada 5 años. La misma norma también recomienda que todas las partes metálicas ajenas al sistema eléctrico, incluyendo tuberías de gas, agua fría y caliente, calefacción central, etc., deberían conectarse entre sí y luego conectadas al terminal de tierra del cliente, con conductor de tamaño adecuado.

Como parte del examen se requieren dos tipos de pruebas independientes:

- Una prueba de impedancia del circuito de tierra. Se dispone de instrumentos de prueba comerciales para este propósito.
- Una prueba de funcionamiento de todos los interruptores de corriente residual existentes en la instalación.

Se requieren las siguientes pruebas para el sistema de tierra:

- Una prueba de impedancia del circuito de prueba.
- Una prueba de funcionamiento de todos los interruptores de corriente residual.
- Una prueba de conexión de todas las partes metálicas ajenas al sistema eléctrico, es decir, tableros metálicos, gabinetes de control, distribuidores automáticos, etc. Esta prueba se realiza usando un óhmetro para medida de baja resistencia (micro-óhmetro), entre el terminal de tierra del cliente y todas las partes metálicas respectivas.
- Resistencia del electrodo de tierra. Si la instalación tiene su propio electrodo de tierra independiente, entonces como parte del examen debe medirse el valor de resistencia a tierra del electrodo y compararlo con su valor de diseño.
- Esto puede significar aislar el electrodo de tierra y puede, por lo tanto, requerir que se desconecte la energía durante el período de prueba.

- Instalaciones con protección contra descarga de rayo. Se recomienda que el examen se realice confrontando con una norma relativa al tema, por ejemplo, la norma británica BS 6651. Luego de una inspección muy rigurosa, para asegurar que la instalación cumple con la reglamentación vigente, se requiere las siguientes pruebas:
- Valor de resistencia a tierra del electrodo. Esto significa previamente aislar el electrodo de los conductores de bajada del sistema de protección contra rayos. Esto no puede realizarse durante una tormenta eléctrica y además debe tomarse precauciones cuando se desconecta el electrodo de los conductores de bajada ya que es posible que aparezca un voltaje excesivo a través del enlace abierto y provocar una falla a tierra en existen instrumentos de medida de impedancia del tipo tenaza que no requieren desconectar el electrodo.
- Una vez medido, el valor de resistencia a tierra del electrodo debe compararse con el valor de diseño, o aquél obtenido durante la prueba anterior.
- Recorrido del electrodo enterrado y examen de éste en algunos sitios para asegurar que no ha sufrido corrosión.
- Se revisa el valor del índice de acidez PH del suelo.

3.5.3 PRESCRIPCIONES

- El usuario deberá disponer del plano actualizado y definitivo de la instalación de toma de tierra, en el que queden reflejados los distintos componentes de la instalación: líneas principales de tierra, arqueta de conexión y electrodos de toma de tierra, mediante un símbolo y/o número específico.
- Ante cualquier modificación en la instalación o en sus condiciones de uso (ampliación de la instalación o cambio de destino del edificio) un técnico competente especialista en la materia deberá realizar un estudio previo.

- Todos los electrodomésticos y luminarias que incorporen la conexión correspondiente se conectarán a la red de tierra.
- El punto de puesta a tierra y su arqueta deberán estar libres de obstáculos que impidan su accesibilidad. Ante una sequedad extraordinaria del terreno, se realizará un humedecimiento periódico de la red de tomas de tierra (siempre que la medición de la resistencia de tierra lo demande y bajo la supervisión de profesional cualificado).

3.5.4 PROHIBICIONES

- No se interrumpirán o cortarán las conexiones de la red de tierra.
- No se utilizarán las tuberías metálicas como elementos de puesta a tierra de aparatos.

3.5.5 MANTENIMIENTO POR EL PROFESIONAL CALIFICADO

Cada año:

En la época en que el terreno esté más seco y después de cada descarga eléctrica, comprobación de la continuidad eléctrica y reparación de los defectos encontrados en los siguientes puntos de puesta a tierra:

- Instalación de pararrayos.
- Instalación de antena colectiva de TV y FM.
- Enchufes eléctricos y masas metálicas de los aseos.
- Instalaciones de fontanería, gas y calefacción, depósitos, calderas, guías de aparatos elevadores y, en general, todo elemento metálico importante.
- Estructuras metálicas y armaduras de muros y soportes de hormigón.

Cada 2 años:

- Comprobación de la línea principal y derivadas de tierra, mediante inspección visual de todas las conexiones y su estado frente a la corrosión,

así como la continuidad de las líneas. Reparación de los defectos encontrados.

- Comprobación de que el valor de la resistencia de tierra sigue siendo inferior a 20 Ohm. En caso de que los valores obtenidos de resistencia a tierra fueran superiores al indicado, se suplementarán electrodos en contacto con el terreno hasta restablecer los valores de resistencia a tierra de proyecto.

Cada 5 años:

- Comprobación del aislamiento de la instalación interior (entre cada conductor y tierra y entre cada dos conductores no deberá ser inferior a 250.000 Ohm). Reparación de los defectos encontrados.
- Comprobación del conductor de protección y de la continuidad de las conexiones equipotenciales entre masas y elementos conductores, especialmente si se han realizado obras en aseos, que hubiesen podido dar lugar al corte de los conductores. Reparación de los defectos encontrados.

Se puede acotar que cuando un sistema eléctrico se expande, la que se creía era una baja resistencia a tierra, se hace mala.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES.

- Se determinó el estado de puesta a tierra en los laboratorios del CMEE, se tiene conocimiento del tiempo de su instalación que es alrededor de 18 años, debido a esto las varillas de Cooper Well presentan oxidación.
- Se realizó las mediciones de las tierras a campo abierto y se comprueba que la resistividad es de 76,84 Ω -m que corresponde a un terreno de cultivo.
- Las mediciones efectuadas en el CMEE. Dieron como resultado un valor de 10,11 Ω , valor que se encuentra por encima del recomendado para este tipo de instalaciones, y que debe ser menor a 5 Ω
- Para garantizar mejores resultados en los valores de resistencia a tierra, es necesario colocar compuestos químicos como el Thor gel, que acondicionen el terreno, mejorando la conductividad y resistividad del suelo.
- La técnica más eficiente y viable para el mejoramiento de la resistencia de puesta a tierra, según el análisis previo desarrollado en este documento, es la instalación de una malla a tierra de 6 x 6 con 9 varillas de Copper Wall de 1,8m de longitud unidas a la malla con suelda exotérmica y enterrada a 0,5m de profundidad, con un tratamiento de relleno del suelo (Anexo D), para así de esta manera obtener una resistencia inferior a 5 Ω .
- Las disposiciones recomendadas en la propuesta de normativa fueron analizados bajo las normas vigentes de sistemas de puesta a tierra nacional, NEC-10 Normas Ecuatorianas de Construcción, Normas INEN e internacional como las IEEE 80-2000, IEEE Std 81-1962, IEEE Std 141-1986, IEEE Std 1100-2005.

4.2 RECOMENDACIONES.

- Para la medición de la resistividad se recomienda el método de Wenner, sus resultados son confiables y abarcando un gran volumen de tierra además de no es necesario enterrar los electrodos a una profundidad mayor a 30cm.
- Los métodos modernos de medición de puesta a tierra que existen hoy en día, son en su mayoría variantes de métodos tradicionales. Sin embargo el método utilizado por medio de una pinza es el más eficiente porque no es necesario la desconexión del sistema de puesta a tierra a ser medido, con lo que se ahorra tiempo, y principalmente se reducen los peligros, en este caso también hay que tomar mucho en cuenta que existe un porcentaje considerable de error al utilizar el mismo.
- En todas las edificaciones, pequeñas o grandes, donde exista la presencia de la energía eléctrica es necesario un sistema de puesta a tierra por razones de seguridad del personal y del equipo.
- Se debe tener en cuenta la recomendación que la toma de tierra del sistemas sea menor a los 5Ω , con los que se asegura que la instalación este adecuadamente protegida y por ende no existan problemas al trabajar con los equipos electrónicos.
- Es necesario el mantenimiento preventivo de los sistemas de protección, por medio de una inspección visual, medición de continuidad de cada sistema y medida de la resistencia de tierra en cada toma, que deben ser programadas durante el año.

BIBLIOGRAFÍA

- AEMC Instruments Libro de Trabajo Rev. 03 Pruebas de resistencia de tierra.
- GARCIA M. Rogelio, puesta a tierra de instalaciones eléctricas, EDITORIALMARCOMBO España, 1999.

- GUEDEL S. José, DOMINGUEZ G. Pedro, Instalaciones Eléctricas de Interior, MARCONBO S.A. España. 2005.
- DÍAZ Pablo, Soluciones Prácticas para la puesta a tierra de sistemas eléctricos de Distribución.
- IEEE Std 81-1962, Recommended Guide for Measuring Ground Resistance and Potential Gradients in the Earth.G
- IEEE Std 141-1986, Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.
- IEEE Std 1100-2005 Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment.
- IEEE Std 80-2000 Guide for Safety in AC Substation Grounding
- LAR 400 - Landscape Architecture Studio at North Carolina State University, TECHNICAL STANDARD Grounding.
- Manual del usuario Extech instruments, Probador de pinza para resistencia de tierra MODELO 382356.
- Manual del usuario fluke Earth/Ground Tester, medidor de resistencia de tierra MODELO 1625.
- MANUAL DE PUESTAS A TIERRA THOR-GEL, Prolongación Lucanas 187 Lima 13 – Perú
- MARTINEZ V. Juan A. Coordinación de aislamiento en redes eléctricas de alta tensión, España, 2008.
- MORALES O. Nelson. Mallas de Tierra, Earthing Practice, 1ra edición, Santiago de Chile 1999.
- MORALES O. Nelson, Sistemas de Puestas a tierra, Editorial CDA 1999, Chile.

- MORENO O. German, VALENCIA V. Jaime, Fundamentos e ingeniería de puestas a tierra, Editorial Antioquia, Colombia 2007.
- Navarro A., "Blindaje Electromagnético de Quirófanos y Salas de Terapia Intensiva", 1555 --Electrolatina, 1974.
- NEC-10 Normas Ecuatorianas de Construcción, Instalaciones Electromecánicas, Decreto Ejecutivo N° 3970.
- NOM-SEDE-001 a 2005 Instalaciones Eléctricas (utilización). Diario Oficial de la Federación el 13 Marzo 2006.
- OROPEZA A. Javier, El libro de oro de puesta a tierra universal, Editorial Schinder. Electric, México. G. E. 2005.
- OSORIO Nelson M. Ing. Civil electricista; Pro-cobre; Manual Técnico de sistemas de puesta a tierra; Primera edición;1999
- RETIE, Reglamento Técnico de instalaciones Eléctricas, Colombia 2008.
- ROJAS Gregor, Manual de sistemas de puesta a tierra, GEDISTRUT 2008.

ANEXO A
UBICACIÓN DEL CMEE.

ANEXO A

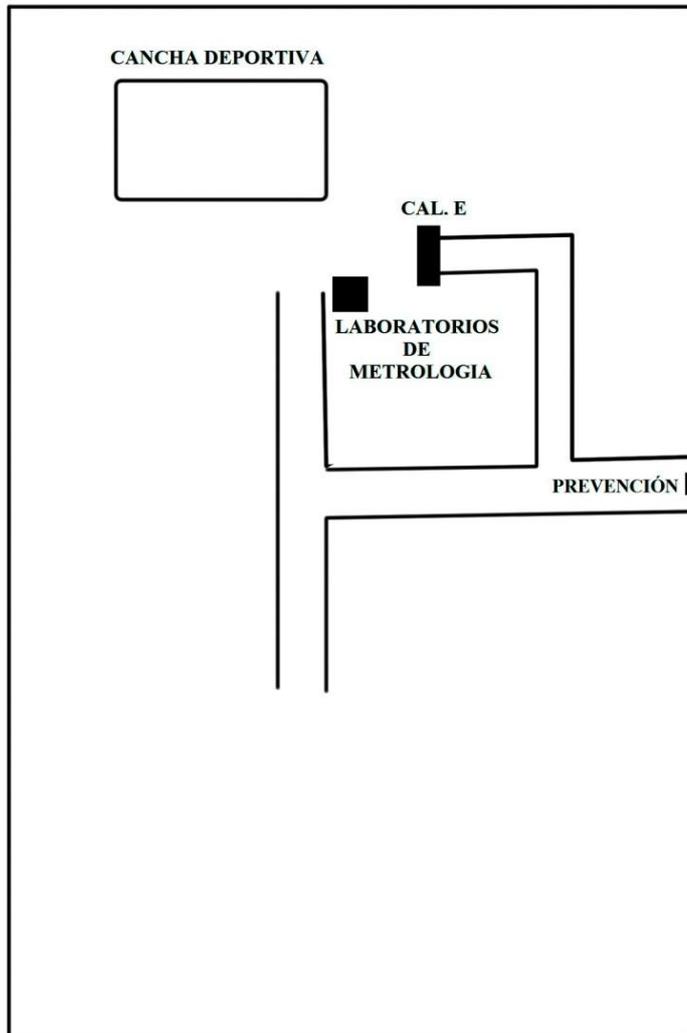
UBICACIÓN DEL CMEE.

A-1

**LOCALIZACIÓN DEL LABORATORIO DEL
CMEE.**

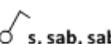
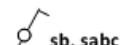


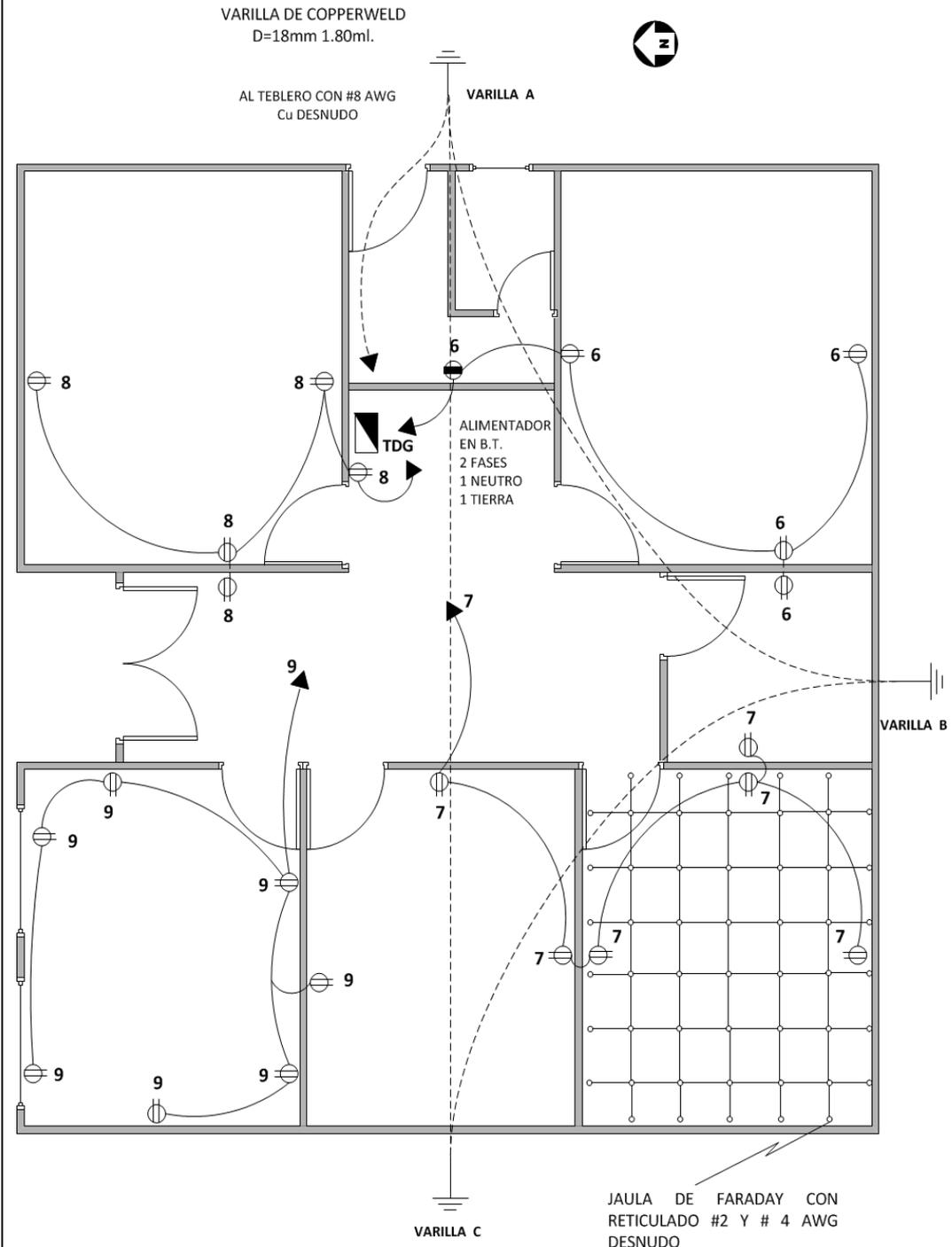
AV. 6 DE DICIEMBRE



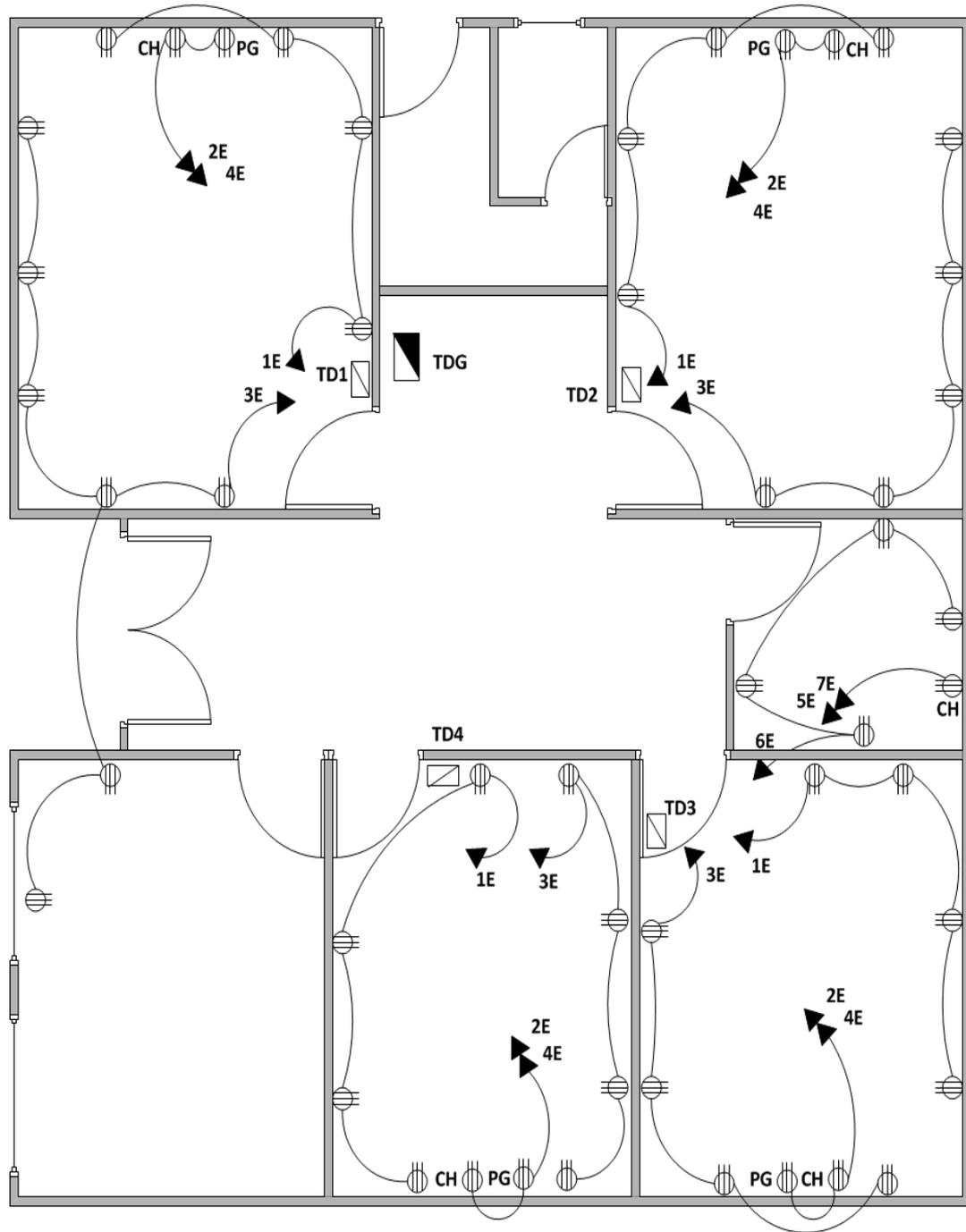
AV. DE LOS PINOS

ANEXO B
DIAGRAMA UNIFILAR

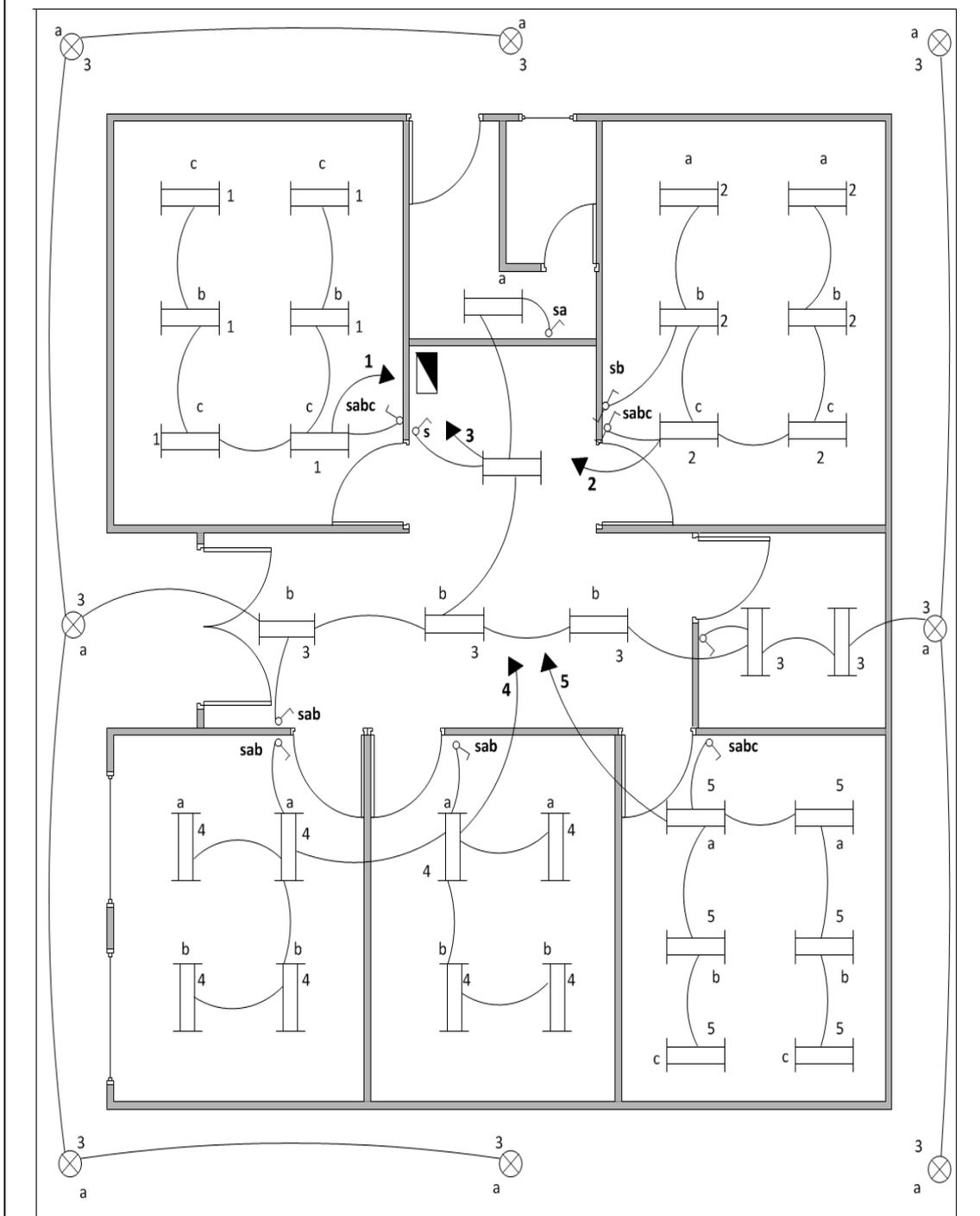
ANEXO B		INSTALACIONES ELÉCTRICAS	B-1
SIMBOLOGÍA			
SIMBOLO	DETALLE		
PG 	SALIDA ESPECIAL 220 V CON TOMA DE 20 A. PATA DE GALLINA A 1.10m		
CH 	SALIDA ESPECIAL 220 V CON TOMA DE 15 A. TIPO CHINO		
TDn 	TABLERO DE PROTECCIONES TERMOMAGNETICAS 2 FASES O PUNTOS PROPIOS DEL LABORATIRIO		
	SALIDA PARA TOMACORRIENTE A 1.10 m POLARIZADO TIPO LEVINGSTONG		
TDG 	TABLERO DE DISTRIBUCION GENERAL PARA LUCES NORMALES TIPO OOL-20 BIFASICO ALIMENTADOR 2 #8 8AWG TW + 1#8 Cu DES D= 1" DMT		
220V/127 V	RED AEREA DE BAJA TENSION		
	GENERADOR		
TTA 	TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMATICO		
	PROTECCION TERMOMAGNETICA		
TDP 	TABLERO DE DISTRIBUCION PRINCIPAL		
	LAMPARA FLUORECENTE 2 X 40 W LUZ DE DIA		
	FOCOS PARA EXTERIORES		
	TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO A 0.40 m		
	SALIDA PARA APLIQUE DE PARED CON TOMA E INTERRUPTOR PROPIO		
	CIRCUITO NUMERO INDICADO n		
	TUBERIA POR EL TECHO O PARED		
	INTERRUPTORES SIMPLE sa, DOBLE sab Y TRIPLE sabc		
	CONMUTADORES SIMPLE sb Y TRIPLE sabc		
	CONECCION A TIERRA		



INSTALACIONES ELECTRICAS (FUERZA)



INSTALACIONES ELECTRICAS (ESPECIALES)



INSTALACIONES ELECTRICAS (ILUMINACION)

ANEXO C
CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN



CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO ECUATORIANO
"Contribuyendo a la cultura de calidad del país"



CALIBRACIÓN
No. OAE LC C 10-005

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

GROUND RESISTANCE

Modelo: 382356

Serie: 3480029

Este documento certifica que el **ground resistance**, marca: **Extech**, modelo: **382356**, serie: **3480029**, fue calibrado usando estándares de referencia del Centro de Metrología del Ejército, durante un período de **01 día**.

La calibración se realizó a una temperatura ambiente media del lugar de 22 ± 3 °C y humedad relativa en el rango de 35% a 65%, para determinar la incertidumbre se considera un nivel de confianza del 95% y un factor de cobertura $K=2$ de acuerdo al G.U.M. Se relaciona únicamente a los valores medidos y no incluye estabilidad del instrumento bajo prueba para largo tiempo.

Las mediciones realizadas por nuestros laboratorios se basan en patrones de Referencia que mantienen trazabilidad a patrones internacionales, los certificados de calibración se encuentran en los archivos del CMEE y pueden ser revisados por cualquier personal autorizado, se utilizan procedimientos reproducidos y/o desarrollados por éste Centro, de acuerdo a requerimientos de la norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2006.

La estabilidad y funcionamiento del **ground resistance** depende de varios factores, los cuales están fuera del control de nuestros laboratorios de calibración. No obstante, si al equipo se le da un mantenimiento y uso adecuado, los valores descritos en el reporte de calibración pueden mantenerse dentro de los rangos en el período que se establezca como válida la calibración.

Este certificado solo se aplicará para el ítem identificado, únicamente se podrá reproducir en forma completa y con la aprobación escrita específica del Centro de Metrología del Ejército. No será usado para reclamo de endoso de productos por el INEN ó cualquier otra entidad Estatal.

Estándar (es) utilizado (s):

Equipo	Marca	Modelo	Serie	Fecha de Cal.	Fecha prox. Cal.
Calibrador	Fluke	5500A	6525005	2012-10-23	2013-10-23
Década	Hars	HARS-X-6-0.001	C3-10454441	2010-11-09	2013-11-09

*De requerir el cliente, se entregará el diagrama de trazabilidad del laboratorio.

MARIO A. CAJAS R.
TCRN. DE E.M.
DIRECTOR DEL CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO

Número de reporte: BF13462MRB
Fecha de calibración: 2013-06-10

CA2.1.F1

Reporte: BF13462MRB Pag. 1 de 3

C.M.E.E.CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO
LABORATORIO DE DC Y BAJA FRECUENCIACALIBRACIÓN
No. OAE LC C 10-05**REPORTE DE CALIBRACIÓN**

Cliente: ELEPCO S.A. **Reporte No:** BF13462MRB
Repr.: Ing. Hernán Iturralde **Fecha ini. cal:** 2 013-06-10
Dire.: Latacunga, Marquez de Maenza 5-44 y Quijano Ordoñez **Fecha fin. cal:** 2 013-06-10
Telf.: 032 812 630

Equipo: GROUND RESISTANCE **Patrones:** CALIBRADOR **FLUKE**
Marca: EXTECH **Modelo:** 5500A
Modelo: 382356 **Serie:** 6525005
Serie: 3480029 **DÉCADA:** HARS
Modelo: HARS-X-6-0.001
Serie: C3-10454441

Proced. Empleado: CA0.P8
Temperatura media: 21,5 °C.
Humedad media relativa: 50,9 %.

# Item	PARÁMETRO RANGO	VALOR REFERENCIA	LECTURA MEDIA (UBP)	CORRECCIÓN I/Ω	INCERTID.k=2 (±) I/Ω	OBSERVACIÓN
CORRIENTE AC						
mA						
1	1,00 - 9,99 mA 60 Hz	1,9999276	1,931	0,0693276	0,01	
2	1,00 - 9,99 mA 50 Hz	1,9999276	1,944	0,0564276	0,01	
3	10,0 - 99,9 mA 60 Hz	19,999056	19,500	0,499056	0,06	
4	10,0 - 99,9 mA 50 Hz	19,999056	19,432	0,567056	0,06	
5	100 - 750 mA 60 Hz	199,9677	194,400	5,5677	2,94	
6	101 - 750 mA 50 Hz	199,9677	193,640	6,3277	2,95	
A						
7	0,20 - 15,00 A 60 Hz	0,99997	0,950	0,04997	0,01	
8	0,20 - 15,00 A 60 Hz	4,99997	4,874	0,12597	0,01	
9	0,20 - 15,00 A 60 Hz	9,99997	9,811	0,18897	0,02	
10	0,20 - 15,00 A 50 Hz	9,99997	9,765	0,23497	0,01	
RESISTENCIA						
Ω						
11	0,03- 9,99 Ω	2,005950	1,975	0,030950	0,00	
12	0,03- 9,99 Ω	5,005360	4,885	0,120360	0,01	
13	0,03- 9,99 Ω	9,005810	8,794	0,211810	0,03	
14	10,00 - 99,9 Ω	20,00520	19,475	0,53020	0,01	
15	10,00 - 99,9 Ω	50,00580	49,090	0,91580	0,26	
16	10,00 - 99,9 Ω	90,00730	89,210	0,79730	0,12	
17	200,00 - 399,9 Ω	300,0040	298,540	1,4640	1,54	
18	400,00 - 599,9 Ω	500,0140	497,000	3,0140	2,32	

Dirección: Av. Los Pinos E7-105 y 6 de Diciembre/Quito/Ecuador/(593)02 2 385-202/FAX. (593)02 2 414-432.

e-mail: dpa_cmec@hotmail.com

Reporte : BF13462MRB Pag. 2 de 3

CA2.1.F2

C.M.E.E.

CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO
LABORATORIO DE DC Y BAJA FRECUENCIA

CALIBRACIÓN
No. OAE LC C 10-05

# Item	PARÁMETRO RANGO	VALOR REFERENCIA	LECTURA MEDIA (UBP)	CORRECCIÓN I/Ω	INCERTID.k=2 (±) I/Ω	OBSERVACIÓN
19	600,00 - 999,9 Ω	700,0240	701,810	-1,7860	1,67	
20	600,00 - 999,9 Ω	900,0310	900,840	-0,8090	4,93	
21	1000 - 1500 Ω	1000,035	1002,110	-2,075	5,83	

Realizado por

Téc. Holger Guamán
Ret. del L.B.F.

Revisado por

Tlgo. Julio C. Montaluisa L.
Jefe del Departamento de Calidad

Ing. Marcelo J. Garzón M.
Jefe del Departamento Técnico



CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO ECUATORIANO
"Contribuyendo a la cultura de calidad del país"



CALIBRACIÓN
No. OAE L.C.C 10-005

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

ADVANCED EARTH / GROUND TESTER

Modelo: 1625

Serie: S0801900068B4

Este documento certifica que el **advanced earth / ground tester**, marca: **FLUKE**, modelo: **1625**, serie: **S0801900068B4**, fue calibrado usando estándares de referencia del Centro de Metrología del Ejército, durante un periodo de **02 días**.

La calibración se realizó a una temperatura ambiente media del lugar de 22 ± 3 °C y humedad relativa en el rango de 35% a 65%, para determinar la incertidumbre se considera un nivel de confianza del 95% y un factor de cobertura $K=2$ de acuerdo al G.U.M. Se relaciona únicamente a los valores medidos y no incluye estabilidad del instrumento bajo prueba para largo tiempo.

Las mediciones realizadas por nuestros laboratorios se basan en patrones de Referencia que mantienen trazabilidad a patrones internacionales, los certificados de calibración se encuentran en los archivos del **CMEE** y pueden ser revisados por cualquier personal autorizado, se utilizan procedimientos reproducidos y/o desarrollados por este Centro, de acuerdo a requerimientos de la norma **NTE INEN ISO/IEC 17025:2006**.

La estabilidad y funcionamiento del **advanced earth / ground tester** depende de varios factores, los cuales están fuera del control de nuestros laboratorios de calibración. No obstante, si al equipo se le da un mantenimiento y uso adecuado, los valores descritos en el reporte de calibración pueden mantenerse dentro de los rangos en el periodo que se establezca como válida la calibración.

Este certificado solo se aplicará para el ítem identificado, únicamente se podrá reproducir en forma completa y con la aprobación escrita específica del Centro de Metrología del Ejército. No será usado para reclamo de endoso de productos por el INEN o cualquier otra entidad Estatal.

Estándar (es) utilizado (s):

Equipo	Marca	Modelo	Serie	Fecha de Cal.	Fecha prox. Cal.
Calibrador	Fluke	5500A	6525005	2012-10-23	2013-10-23
Década	Hars	HARS-X-6-0.001	C3-10454441	2010-11-09	2013-11-09
Década	Hars	HRRS-Q-9-1K-5KV	B2-1045208	2010-12-06	2013-12-06

*De requerir el cliente, se entregará el diagrama de trazabilidad del laboratorio.


MARIO A. CAJAS R.
TCRN. DE E.M.
DIRECTOR DEL CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO

CA2.1.F1

Número de reporte: BF13470ERM
Fecha de calibración: 2013-06-12

Reporte: BF13462MRB Pag. 1 de 7

C.M.E.E.CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO
LABORATORIO DE DC Y BAJA FRECUENCIACALIBRACIÓN
No. OAE LC C 10-005**REPORTE DE CALIBRACIÓN**

Cliente: INTERAGUA **Reporte No.:**
Repr.: Srta. Laura de Franc **Fecha ini. cal.:**
Dire.: Guayaquil, Urb. San Eduardo Av. José Rodríguez **Fecha fin. cal.:**
Telf.: 042 874 030

Equipo: ADVANCED EARTH / GROUND TESTER **Patrones:** CALIBRADOR
Marca: FLUKE **Modelo:**
Modelo: 1625 **Serie:**
Serie: S0801900068B4 **DÉCADA**
Modelo:
Serie:
DÉCADA
Modelo:
Serie:

Proced. Empleado: CAO.P8
Temperatura media: 21,5 °C
Humedad media relativa: 55,5 %

# Item	PARÁMETRO RANGO	VALOR REFERENCIA	LECTURA MEDIA (UBP)	CORRECCIÓN V/Ω	INCERTID. k=2 (±) V/Ω
VOLTAJE DC					
V					
1	50 V	0,999997	1,0	-0,000003	0,06
2	50 V	9,99984	10,1	-0,10016	0,06
VOLTAJE AC					
V					
3	50 V 60Hz	2,29996	2,3	-0,00004	0,06
4	50 V 60Hz	19,99990	19,9	0,09990	0,06
PRUEBA DE RESISTENCIA					
(CANAL RA)					
3 POLOS					
5	0,001 – 2,999 Ω	1,005677	1,029	-0,023323	0,001
6	0,001 – 2,999 Ω	2,005950	2,040	-0,034050	0,001
7	3 – 29,99 Ω	5,005360	5,08	-0,074640	0,01

Dirección: Av. Los Pinos E7-105 y 6 de Diciembre/Quito/Ecuador/(593)02 3 285 202/FAX. (593)02 2 414 432.

email: dpa_cmec@hotmail.com

CA2.1.F2

Reporte: BF13470ERM. Pag. 2 de 7

C.M.E.E.

CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO
LABORATORIO DE DC Y BAJA FRECUENCIA



CALIBRACIÓN
No. OAE LC C 10-005

# Item	PARÁMETRO RANGO	VALOR REFERENCIA	LECTURA MEDIA (UBP)	CORRECCIÓN V/Ω	INCERTID. k=2 (±) V/Ω
8	3 – 29,99 Ω	10,00550	10,15	-0,14450	0,01
9	3 – 29,99 Ω	20,00520	20,28	-0,27480	0,01
10	30 – 299,9 Ω	40,00640	40,4	-0,39360	0,06
11	30 – 299,9 Ω	100,0052	100,4	-0,3948	0,06
12	30 – 299,9 Ω	200,0110	200,0	0,0110	0,06
13	300 – 2999 Ω	400,0090	400	0,0090	0,58
14	300 – 2999 Ω	1000,0570	1000	0,0570	0,58
15	300 – 2999 Ω	2000,0500	2002	-1,9500	0,58
16	3 – 29,99 KΩ	4,0000600	4,01	-0,0099400	0,01
17	3 – 29,99 KΩ	10,000020	10,03	-0,029980	0,01
18	3 – 29,99 KΩ	19,999430	20,07	-0,070570	0,01
19	30 – 299,9 KΩ	39,999090	40,2	-0,200910	0,06
20	30 – 299,9 KΩ	99,999080	100,6	-0,600920	0,06
4 POLOS					
21	0,001 – 2,999 Ω	1,005677	1,019	-0,013323	0,001
22	0,001 – 2,999 Ω	2,005950	2,031	-0,025050	0,001
23	3 – 29,99 Ω	5,005360	5,07	-0,064640	0,01
24	3 – 29,99 Ω	10,00550	10,13	-0,12450	0,01
25	3 – 29,99 Ω	20,00520	20,27	-0,26480	0,01
26	30 – 299,9 Ω	40,00640	40,4	-0,39360	0,06
27	30 – 299,9 Ω	100,0052	100,4	-0,3948	0,06
28	30 – 299,9 Ω	200,0110	200,1	-0,0890	0,06
29	300 – 2999 Ω	400,0090	400	0,0090	0,58
30	300 – 2999 Ω	1000,0570	1001	-0,9430	0,58
31	300 – 2999 Ω	2000,0500	2002	-1,9500	0,58
32	3 – 29,99 KΩ	4,0000600	4,01	-0,0099400	0,01
33	3 – 29,99 KΩ	10,000020	10,03	-0,029980	0,01
34	3 – 29,99 KΩ	19,999430	20,06	-0,060570	0,01
35	30 – 299,9 KΩ	39,999090	40,1	-0,100910	0,06
36	30 – 299,9 KΩ	99,999080	100,6	-0,600920	0,06
PINZA EI-162X					

Dirección: Av. Los Pinos E7-105 y 6 de Diciembre/Quito/Ecuador/(593)02 3 285 202/FAX. (593)02 2 414 432.

email: dpa_cmce@hotmail.com

CA2.1.F2

Reporte: BF13470ERM. Pag. 3 de 7

C.M.E.E.

CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO
LABORATORIO DE DC Y BAJA FRECUENCIA



CALIBRACIÓN
No. OAE LC C 10-005

# Item	PARÁMETRO RANGO	VALOR REFERENCIA	LECTURA MEDIA (UBP)	CORRECCIÓN V/Ω	INCERTID. k=2 (±) V/Ω
3 POLOS					
37	0,001 – 2,999 Ω	1,005677	1,023	-0,017323	0,001
38	0,001 – 2,999 Ω	2,005950	2,032	-0,025550	0,001
39	3 – 29,99 Ω	5,005360	5,06	-0,054640	0,01
40	3 – 29,99 Ω	10,00550	10,12	-0,11450	0,01
41	3 – 29,99 Ω	20,00520	20,22	-0,21480	0,01
42	30 – 299,9 Ω	40,00640	40,4	-0,39360	0,06
43	30 – 299,9 Ω	100,0052	100,2	-0,1948	0,06
44	30 – 299,9 Ω	200,0110	199,7	0,3110	0,06
45	0,300 – 2,999 KΩ	400,0090	400	0,0090	0,58
46	0,300 – 2,999 KΩ	1000,0570	1001	-0,9430	0,58
47	0,300 – 2,999 KΩ	2000,0500	2005	-4,9500	0,58
48	3 – 29,99 KΩ	4,0000600	4,02	-0,0199400	0,01
49	3 – 29,99 KΩ	10,000020	9,93	0,070020	0,01
50	3 – 29,99 KΩ	19,999430	19,96	0,039430	0,01
4 POLOS					
51	0,001 – 2,999 Ω	1,005677	1,016	-0,010323	0,001
52	0,001 – 2,999 Ω	2,005950	2,026	-0,019550	0,001
53	3 – 29,99 Ω	5,005360	5,05	-0,044640	0,01
54	3 – 29,99 Ω	10,00550	10,11	-0,10450	0,01
55	3 – 29,99 Ω	20,00520	20,20	-0,19480	0,01
56	30 – 299,9 Ω	40,00640	40,4	-0,39360	0,06
57	30 – 299,9 Ω	100,0052	100,2	-0,1948	0,06
58	30 – 299,9 Ω	200,0110	199,7	0,3110	0,06
59	0,300 – 2,999 KΩ	400,0090	400	0,5090	0,67
60	0,300 – 2,999 KΩ	1000,0570	1001	-0,9430	0,58
61	0,300 – 2,999 KΩ	2000,0500	2005	-4,4500	0,67
62	3 – 29,99 KΩ	4,0000600	4,02	-0,0199400	0,01
63	3 – 29,99 KΩ	10,000020	9,91	0,090020	0,01
64	3 – 29,99 KΩ	19,999430	19,89	0,109430	0,01

Dirección: Av. Los Pinos E7-105 y 6 de Diciembre/Quito/Ecuador/(593)02 3 285 202/FAX: (593)02 2 414 432.

email: dpa_cmce@hotmail.com

CA2.1.F2

Reporte: BF13470ERM. Pag. 4 de 7

C.M.E.E.

CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO
LABORATORIO DE DC Y BAJA FRECUENCIA



CALIBRACIÓN
No. OAE LC C 10-005

# Item	PARÁMETRO RANGO	VALOR REFERENCIA	LECTURA MEDIA (UBP)	CORRECCIÓN V/Ω	INCERTID. k=2 (±) V/Ω
PINZA EI-162AC					
3 POLOS					
65	0,001 – 2,999 Ω	1,005677	1,042	-0,036323	0,001
66	0,001 – 2,999 Ω	2,005950	2,076	-0,069550	0,001
67	3 – 29,99 Ω	5,005360	5,17	-0,159640	0,01
68	3 – 29,99 Ω	10,00550	10,31	-0,30450	0,01
69	3 – 29,99 Ω	20,00520	20,60	-0,59480	0,01
70	30 – 299,9 Ω	40,00640	41,1	-1,09360	0,06
71	30 – 299,9 Ω	100,0052	101,8	-1,7448	0,07
72	30 – 299,9 Ω	200,0110	202,5	-2,4390	0,07
73	0,300 – 2,999 KΩ	400,0090	405	-4,9910	0,58
74	0,300 – 2,999 KΩ	1000,0570	1021	-20,9430	0,58
75	0,300 – 2,999 KΩ	2000,0500	2030	-29,9500	0,89
76	3 – 29,99 KΩ	4,0000600	4,09	-0,0899400	0,01
77	3 – 29,99 KΩ	10,000020	10,11	-0,109980	0,01
78	3 – 29,99 KΩ	19,999430	20,33	-0,330570	0,01
4 POLOS					
79	0,001 – 2,999 Ω	1,005677	1,025	-0,019323	0,001
80	0,001 – 2,999 Ω	2,005950	2,049	-0,042550	0,001
81	3 – 29,99 Ω	5,005360	5,12	-0,114640	0,01
82	3 – 29,99 Ω	10,00550	10,25	-0,23950	0,01
83	3 – 29,99 Ω	20,00520	20,47	-0,46480	0,01
84	30 – 299,9 Ω	40,00640	40,9	-0,89360	0,06
85	30 – 299,9 Ω	100,0052	101,3	-1,2448	0,07
86	30 – 299,9 Ω	200,0110	201,9	-1,8890	0,09
87	0,300 – 2,999 KΩ	400,0090	404	-3,9910	0,58
88	0,300 – 2,999 KΩ	1000,0570	1021	-20,4430	0,67
89	0,300 – 2,999 KΩ	2000,0500	2034	-33,4500	0,67
90	3 – 29,99 KΩ	4,0000600	4,06	-0,0599400	0,01
91	3 – 29,99 KΩ	10,000020	10,08	-0,079980	0,01

Dirección: Av. Los Pinos E7-105 y 6 de Diciembre/Quito/Ecuador/(593)02 3 285 202/FAX. (593)02 2 414 432.

email: dpu_cmec@hotmail.com

CA2.1.F2

Reporte: BF13470ERM. Pag. 5 de 7

C.M.E.E.CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO
LABORATORIO DE DC Y BAJA FRECUENCIACALIBRACIÓN
No. OAE LC C 10-005

# Item	PARÁMETRO RANGO	VALOR REFERENCIA	LECTURA MEDIA (UBP)	CORRECCIÓN V/Ω	INCERTID. k=2 (±) V/Ω
92	3 – 29,99 KΩ	19,999430	20,26	-0,255570	0,01
(CANAL R-)					
2 POLOS					
93	0,001 – 2,999 Ω	1,005677	1,041	-0,035323	0,001
94	0,001 – 2,999 Ω	2,005950	2,053	-0,047050	0,001
95	3 – 29,99 Ω	5,005360	5,09	-0,084640	0,01
96	3 – 29,99 Ω	10,00550	10,16	-0,15450	0,01
97	3 – 29,99 Ω	20,00520	20,29	-0,28480	0,01
98	30 – 299,9 Ω	40,00640	40,5	-0,49360	0,06
99	30 – 299,9 Ω	100,0052	100,5	-0,4948	0,06
100	30 – 299,9 Ω	200,0110	200,2	-0,1890	0,06
101	0,300 – 2,999 KΩ	400,0090	400	0,0090	0,58
102	0,300 – 2,999 KΩ	1000,0570	1001	-0,9430	0,58
103	0,300 – 2,999 KΩ	2000,0500	2002	-1,9500	0,58
104	3 – 29,99 KΩ	4,0000600	4,01	-0,0099400	0,01
105	3 – 29,99 KΩ	10,000020	10,03	-0,029980	0,01
106	3 – 29,99 KΩ	19,999430	20,06	-0,055570	0,01
107	30 – 299,9 KΩ	39,999090	40,1	-0,100910	0,06
108	30 – 299,9 KΩ	99,999080	100,5	-0,450920	0,07
(CANAL R →)					
2 POLOS					
109	0,001 – 2,999 Ω	1,005677	1,030	-0,024323	0,001
110	0,001 – 2,999 Ω	2,005950	2,032	-0,026050	0,001
111	3 – 29,99 Ω	5,005360	5,04	-0,034640	0,01
112	3 – 29,99 Ω	10,00550	10,08	-0,07450	0,01
113	3 – 29,99 Ω	20,00520	20,09	-0,08480	0,01
114	30 – 299,9 Ω	40,00640	40,1	-0,09360	0,06
115	30 – 299,9 Ω	100,0052	100,2	-0,1948	0,06
116	30 – 299,9 Ω	200,0110	200,1	-0,0890	0,06
117	300 – 2999 Ω	400,0090	400	0,0090	0,58
118	300 – 2999 Ω	1000,0570	1002	-1,9430	0,58

Dirección: Av. Los Pinos E7-105 y 6 de Diciembre/Quito/Ecuador/(593)02 3 285 202/FAX. (593)02 2 414 432.

email: dpa_cmce@hotmail.com

CA2.1.F2

Reporte: BF13470ERM. Pag. 6 de 7

C.M.E.E.

CENTRO DE METROLOGÍA DEL EJÉRCITO
LABORATORIO DE DC Y BAJA FRECUENCIA

CALIBRACIÓN
No. OAE LC C 10-05

# Item	PARÁMETRO RANGO	VALOR REFERENCIA	LECTURA MEDIA (UBP)	CORRECCIÓN I/Ω	INCERTID.k=2 (±) I/Ω	OBSERVACIÓN
19	600,00 - 999,9 Ω	700,0240	701,810	-1,7860	1,67	
20	600,00 - 999,9 Ω	900,0310	900,840	-0,8090	4,93	
21	1000 - 1500 Ω	1000,035	1002,110	-2,075	5,83	

Realizado por

Téc. Holger Guamán
Ret. del L.B.F.

Revisado por

Tlgo. Julio C. Montaluisa L.
Jefe del Departamento de Calidad

Ing. Marcelo J. Garzón M.
Jefe del Departamento Técnico

Dirección: Av. Los Pinos E7-105 y 6 de Diciembre/Quito/Ecuador/(593)02 2 385-202/FAX. (593)02 2 414-432.

c-mail: dpa_cmec@hotmail.com

Reporte : BF13462MRB Pag-3 de 3

CA2.1.F2

ANEXO D
PLANOS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA