



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD Y CONTROL INDUSTRIAL

TEMA:

**“MEDICIÓN DE RESISTENCIAS DE PUESTAS A
TIERRA EN LA CIUDADELA LOS GERANIOS”**

**INFORME TÉCNICO PREVIO A OPTAR POR EL
TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTRICIDAD Y
CONTROL INDUSTRIAL**

AUTOR

Asdrúbal Humberto Cacay Luzuriaga

DIRECTOR

Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa

LOJA - ECUADOR

2013

CERTIFICACIÓN

Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa,

DOCENTE DEL ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA; Y DIRECTOR DEL INFORME TÉCNICO.

CERTIFICA:

Que el trabajo de investigación titulado “**MEDICIÓN DE RESISTENCIAS DE PUESTAS A TIERRA EN LA CIUDADELA LOS GERANIOS**”, desarrollado por el señor Asdrúbal Humberto Cacay Luzuriaga, previo a optar el Título de ***Tecnólogo en Electricidad y Control Industria*** , ha sido realizado bajo mi dirección, mismo que cumple con los requisitos exigidos en las normas de graduación, por lo que autorizo su presentación ante el tribunal.

Loja, 23 de Mayo del 2013



Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa
DIRECTOR DEL INFORME TÉCNICO.

AUTORÍA

Yo **ASDRÚBAL HUMBERTO CACAY LUZURIAGA**, declaro ser autor (a) del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: ASDRÚBAL HUMBERTO CACAY LUZURIAGA

Firma:



Cédula: 1104475130

Fecha: 27/05/2013

AGRADECIMIENTO

Quiero dar mi más sincero agradecimiento al Ing. Ramiro Borrero, por haberme dirigido este proyecto de fin de carrera, por todas las atenciones y sobre todo por su apoyo.

En general, a todos aquellos profesores y alumnos que a lo largo de la carrera me han ayudado a formarme como ser humano y técnicamente, que aunque no los mencione de forma explícita, no les puedo negar un sincero agradecimiento.

No puedo dejar de agradecer la comprensión de mis familiares, en especial a mis padres y amigos.

Gracias, porque todos a su manera han sido importantes y porque en mí y en todo esto hay un trozo de cada uno de ustedes.

ASDRÚBAL H. CACAY L.

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a mi familia por todo su amor, apoyo y paciencia en todo momento de mi vida.

ASDRÚBAL H. CACAY L.

RESUMEN

Un sistema de puesta a tierra consiste en la conexión de equipos eléctricos y electrónicos a tierra, para evitar que se dañen en caso de una corriente transitoria peligrosa. Los objetivos de un sistema de puesta a tierra, radican en proporcionar seguridad a las personas y proteger las instalaciones. Establecer un sistema de puesta a tierra permite tener la permanencia de un potencial de referencia, al estabilizar la tensión eléctrica a tierra, bajo condiciones normales de operación.

La resistividad del terreno es un factor importante e indispensable al momento de constituir un estudio para una puesta a tierra. En la medición de la resistividad de un terreno existen varios factores que pueden afectar y variarla, entre otros tenemos: Naturaleza del Terreno, Humedad, Temperatura, Salinidad, Estratigrafía, Compactación y las Variaciones estacionales.

El telurómetro es el instrumento que nos permite establecer una medición de la resistividad de un terreno o la resistencia de una puesta a tierra, principalmente con la utilización del método de Wenner.

Entre los métodos a utilizar en la medición de la resistencia a tierra tenemos: método de los dos puntos, método del 62 %, método de caída de potencial, método de los cuatro puntos, etc.

En la medición de resistencia a tierra de electrodos, es necesario tener el conocimiento de los factores que pueden afectar los resultados de las mediciones, entre los cuales tenemos:

- ✓ El tipo de prueba.
- ✓ El tipo de aparato empleado.
- ✓ El lugar físico de las puntas de prueba.

Un sistema de puesta a tierra adquiere gran importancia desde el punto de vista de la seguridad, y cualquier estudio para una instalación debe ser estricto y estar obligatoriamente comprobado, y respaldado en mediciones.

SUMMARY

A setting system to earth consists on the connection of electric and electronic teams to earth, to avoid that they are damaged in the event of a dangerous transitory current. The objectives of a setting system to earth, reside in to provide security to people and to protect the facilities. To establish a setting system to earth allows having the permanency of a reference potential, when stabilizing the electric tension to earth, under normal conditions of operation.

The resistivity of the land is an important and indispensable factor to the moment to constitute a study for a setting to earth. In the mensuration of the resistivity of a land several factors that can affect exist and to vary it, among other has: Nature of the Land, Humidity, Temperature, Salinity, Stratigraphy, Compact and the seasonal Variations.

The telurómetro is mainly the instrument that allows to settle down a mensuration of the resistivity of a land or the resistance from a setting to earth, with the use of the method of Wenner.

Among the methods to use in the mensuration from the resistance to earth have: method of the two points, method of 62%, method of potential fall, method of the four points, etc.

In the resistance mensuration to earth of electrodes, it is necessary to have the knowledge of the factors that you/they can affect the results of the mensurations, among which we have:

- ✓ The test type.

- ✓ The type of used apparatus.
- ✓ The physical place of the test tips.

A setting system to earth acquires great importance from the point of view of the security, and any study for an installation it should be strict and to be obligatorily proven, and supported in mensurations.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
RESUMEN	vi
SUMMARY	viii
ÍNDICE GENERAL	x
I. INTRODUCCIÓN	2
II. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD	4
2.1. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA	5
2.1.1. Conceptos Importantes de una Puesta a Tierra.....	7
2.1.2. Propósito de un Sistema de Puesta a Tierra.....	9
2.1.3. Parámetros Característicos de un Sistema de Puesta a Tierra.	11
2.1.4. Métodos de puesta a Tierra	13
2.1.5. Dispositivos para Medir un Sistema de Puesta a Tierra.....	17
2.1.6. Puesta a Tierra del Circuito.	22
2.1.7. Puesta a Tierra de Seguridad.	24
2.1.8. Fallas a Tierra.....	26
2.1.9. Tipos de Terrenos.....	28
2.1.10. Medición de Resistividad de un Terreno.	32
2.1.11. Parámetros de Diseño.	33
2.1.12. Consideraciones para Sistemas de Puesta a Tierra.	34
2.1.13. Calibres para Conductor de Electrodo de Tierra.	37
2.1.14. Cálculo de Resistencia de Puesta a Tierra.	42
2.1.15. Constitución de una Puesta a Tierra	44
2.2. TIPOS DE PUESTA A TIERRA	45
2.2.1. Barras.....	45
2.2.2. Electrodo horizontales.....	46
2.2.3. Mallas de tierra	47
2.3. TELURÓMETROS.....	48

2.3.1.	Definición.....	48
2.4.	TELURÓMETRO 3123	48
2.4.1.	Conductores Tipo Lagarto.	50
2.4.2.	Electrodos o Piquetas a Tierra.....	52
2.2.3.	Pinza Amperimétrica.....	53
2.2.4.	Cargador	55
III.	MATERIALES.....	56
3.1.	MATERIALES PARA MEDICIÓN DE PUESTAS A TIERRA	57
IV.	PROCESO METODOLÓGICO EMPLEADO.....	58
4.1.	PROCESO METODOLÓGICO.	59
4.2.	CIRCUITOS DE LA CIUDADELA “LOS GERANIOS”.....	60
4.2.1.	Circuito A.....	60
4.2.2.	Circuito B.....	61
4.2.3.	Circuito C.....	62
4.2.4.	Circuito D.....	63
4.2.5.	Circuito E.....	64
4.2.6.	Circuito F	65
4.2.7.	Circuito G	66
4.2.8.	Circuito H.....	67
4.2.9.	Circuito I	68
4.2.10.	Circuito J	69
4.3.	Principio de Funcionamiento para Medición con Telurómetro	71
V.	RESULTADOS	72
5.1.	RESULTADOS	73
5.2.	Medición de las Puestas a Tierra de los Circuitos Existentes.....	73
5.1.1.	CIRCUITO A.....	74
5.1.2.	CIRCUITO: B.....	76
5.1.3.	CIRCUITO C.....	77
5.1.4.	CIRCUITO D.....	78
5.1.5.	CIRCUITO E.....	79
5.1.6.	CIRCUITO F	80
5.1.7.	CIRCUITO G	81
5.1.8.	CIRCUITO H.....	82

5.1.9. CIRCUITO I	83
5.1.10. CIRCUITO J	84
VI. CONCLUSIONES	87
VII. RECOMENDACIONES	90
VIII. BIBLIOGRAFÍA	93
IX. ANEXOS	97
PLANIMETRÍA DE LA CIUDADELA “LOS GERANIOS”	98
PROYECTO	99

**“MEDICIÓN DE RESISTENCIAS
DE PUESTAS A TIERRA EN LA
CIUDADELA LOS GERANIOS”**

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de puesta a tierra, contribuyen de forma importante a la protección y el buen funcionamiento de los sistemas de energía eléctrica. El sistema de puesta a tierra, tiene la función de garantizar una referencia de potencial y permitir la circulación de corrientes no equilibradas.

Todos los circuitos de una instalación eléctrica, en los que se encuentran interconectados equipos eléctricos y electrónicos necesitan estar conectados a un sistema de puesta a tierra.

En la presente investigación se presenta una aproximación global del tema referente a sistemas de puestas a tierra, permitiendo la realización de mediciones y comprobación del estado de los sistemas de puesta a tierra de los circuitos que suministran electricidad a la ciudadela “Los Geranios” en la ciudad de Loja.

Los sistemas de puesta a tierra deben cumplir requisitos como:

Seguridad: El sistema de puesta a tierra debe conducir las corrientes de cortocircuito y rayos a tierra sin que se produzca una subida de tensión intolerable o tensiones de contacto.

Protección de equipos y funcionalidad: El sistema de puesta a tierra debe proteger los equipos eléctricos y electrónicos, facilitando una ruta de evacuación de baja impedancia a los equipos interconectados. La canalización, ordenación y el apantallamiento adecuado de los cables constituyen aspectos

muy importantes y sirven para la protección de averías que podrían afectar el funcionamiento de los equipos antes mencionados.

Rayos y cortocircuito: El sistema de puesta a tierra debe proteger a los ocupantes, evitando daños directos tales como: fuego, descargas eléctricas o explosiones a causa del impacto directo de un rayo o a un sobrecalentamiento provocado por una corriente de cortocircuito. Aunque los requisitos exigibles para estos aspectos a menudo se especifican por separado, su aplicación exige una solución integral para todo el sistema.

La resistividad de un terreno es un factor importante al momento de constituir un sistema de puesta a tierra. Existen varios factores que pueden afectar y variar la resistividad de un terreno, entre los cuales tenemos: Naturaleza del Terreno, Humedad, Temperatura, Salinidad, Estratigrafía, Compactación y las Variaciones estacionales.

El telurómetro es el instrumento que nos permite establecer una medición de la resistividad de un terreno o la resistencia de una puesta a tierra, principalmente con la utilización del método de Wenner.

II. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD

2.1. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

La mayoría de los sistemas eléctricos necesitan ser aterrizados, por tal motivo esta práctica en función del tiempo ha continuado y se ha desarrollado progresivamente, de modo que tales conexiones a tierra se encuentran en casi todos los puntos del sistema eléctrico, incluyéndose la estación generadora, las líneas de transmisión, los cables que distribuyen la energía eléctrica y los locales domiciliarios, comerciales e industriales en los cuales se utiliza.

En el transcurso de los últimos años, es visible un rápido desarrollo en lo referente a los sistemas eléctricos, tal es el punto que debemos estar conscientes en que se debe cumplir con las normativas vigentes en cuanto a las resistividad del terreno así como de la puesta a tierra de urbanizaciones, motivo por el cual esto ha incrementado el interés, comprensión y aplicación del tema propiamente dicho, teniendo en cuenta al mismo tiempo que la puesta a tierra es de vital importancia para la protección y buen funcionamiento de los equipos conectados a la red, así mismo las normas requieren diseños seguros, confiables y eficientes.

Es así que mediante el desarrollo de este proyecto se tendrá la oportunidad de explicar más claramente los conceptos que intervienen en lo que se refiere a puestas a tierra y los métodos para determinar la resistividad más adecuada del terreno en donde va ser instalada, por lo que es necesario que estos conocimientos sean considerados por los profesionales y técnicos, de tal modo que pueda lograrse una mayor comprensión del tema.

La IEEE define como sistema de puesta a tierra a la conexión conductora, por medio de la cual un circuito o equipo eléctrico se conecta a tierra, o a algún cuerpo conductor de dimensión relativamente grande que cumple la función de tierra.

Se entiende por puesta a tierra la unión eléctrica de un equipo o componente de un sistema eléctrico a tierra por medio de dispositivos que son conductores de electricidad adecuados. Es importante mencionar que el término normalizado para designar la resistencia ofrecida al paso de una corriente eléctrica hacia el suelo a través de una puesta a tierra es “Resistencia de Puesta a Tierra” (RPT).

Una puesta a tierra presenta resistencia, capacitancia e inductancia, cada cual influye en la capacidad de conducción de corriente a tierra. Por lo tanto, no se debe pensar solamente en una resistencia de puesta a tierra, sino más bien en una impedancia de puesta a tierra.

Para bajas frecuencias, bajas corrientes y valores de resistividad del suelo no muy elevados, son despreciables los efectos capacitivos y de ionización del suelo y el mismo se comporta prácticamente como una resistencia. También hay que tener en cuenta que para el caso de altas frecuencias, es necesario considerar el efecto capacitivo, principalmente en suelos de altas resistividades. Las ondas tipo rayo sufren la oposición de la reactancia inductiva de las conexiones al penetrar el suelo propiamente dicho.

2.1.1. Conceptos Importantes de una Puesta a Tierra

A continuación se mencionan algunas definiciones de acuerdo a las especificaciones IEEE Std 81-1983:

Puesta a Tierra: Es toda aquella conexión intencional del sistema eléctrico con un elemento considerado tierra. Es aplicada a todo el equipo o parte de una instalación eléctrica (neutro, centro estrella de transformadores o generadores, carcasas, incluido también una fase para sistemas en delta, entre otros sistemas), que posee una conexión intencional mediante un elemento mejor conocido como puesta a tierra.

Tierra: Para sistemas eléctricos, es una expresión que generaliza todo lo referente a sistemas de puesta a tierra propiamente dicho. En cuanto a los temas eléctricos es asociado el suelo, terreno, tierra, masa, chasis, carcasa, armazón, estructura o tubería de agua. Solo se debe utilizar el término “masa” para aquellos casos en que la referencia no es el suelo, como en el caso de: los aviones, los barcos, los carros entre otros.

Conductor de Puesta Tierra: Se define de esta manera al conductor que es conectado sólidamente de manera intencional a una puesta a tierra, para conectar a tierra los diferentes puntos de una instalación.

Resistividad del Suelo: Mediante este término se define a la resistencia específica del suelo a cierta profundidad, pudiendo ser también un estrato del suelo; se obtiene indirectamente mediante mediciones realizadas en un determinado campo; su magnitud se expresa en (Ωm) u (Ωcm), es inversa a la conductividad. Entonces la resistividad eléctrica (ρ) es la relación que se da

entre la diferencia de potencial en un material y la densidad de corriente que resulta en el mismo.

Resistividad Aparente: Se trata de la resistividad que se obtiene con una medida directa en el suelo natural, realizado por el método de cuatro electrodos, aplicando circuitos de tipo independientes, de corriente y potencial, siendo solo representativo para un punto del suelo.

Resistencia mutua entre Electrodo: Es aquel fenómeno resistivo que aparece entre electrodos de puesta a tierra o puntos próximos ubicados en el suelo, hay que tener en consideración que la corriente que se dispersa a través de uno de ellos, modifica el potencial del otro, su unidad de medida es el Ohmio (Ω).

Potencial Eléctrico: Se denomina así a la diferencia de voltaje existente entre un punto y alguna superficie equipotencial que generalmente es la superficie del suelo, la misma que es seleccionada arbitrariamente como potencial cero o tierra remota, entonces hay que conocer que el punto al cual tiene un potencial más alto que el cero se llama potencial positivo y en caso contrario será denominado potencial negativo.

Tierra Remota: Conocida también como Tierra de Referencia, es el lugar, espacio o la zona de mínima resistencia, más cercana del suelo subyacente a una instalación eléctrica o a una puesta a tierra, respecto de las cuales se le atribuye por convención el valor del potencial cero.

2.1.2. Propósito de un Sistema de Puesta a Tierra

El propósito de un sistema de puesta a tierra se puede resumir en lo siguiente:

- ✓ Proporcionar una impedancia suficientemente baja para facilitar la operación satisfactoria de las protecciones en condiciones de falla.
- ✓ Asegurar que los seres vivos presentes no queden expuestos a potenciales inseguros, en régimen permanente o en condiciones de falla.
- ✓ Permitir la conducción a tierra de cargas estáticas o descargas atmosféricas.
- ✓ Garantizar a niveles seguros los valores de la tensión a tierra de equipos o estructuras accidentalmente energizados y mantener en valores determinados la tensión fase–tierra de sistemas eléctricos, fijando los niveles de aislamiento.
- ✓ Limitar el voltaje a tierra sobre materiales conductivos que circundan a los conductores o equipos eléctricos.

Por otro lado en las instalaciones interiores, es también necesaria una conexión a tierra, para asegurar la correcta operación del equipo por ejemplo dispositivos electrónicos. Es primordial considerar la puesta a tierra como un sistema completo y asociado al sistema eléctrico por lo tanto hay que diseñarla e instalarla de la manera adecuada.

La puesta a tierra de instalaciones eléctricas esta estrictamente relacionada con la seguridad, por lo tanto debe ser diseñada normalmente para cumplir dos funciones de seguridad.

La primera es establecer conexiones equipotenciales: Toda estructura metálica conductiva expuesta, puede ser tocada por una persona, se conecta a través de conductores de conexión eléctrica. La mayoría de los equipos eléctricos se aloja en el interior de cubiertas metálicas y si un conductor energizado llega a entrar en contacto con éstas, la cubierta también quedará temporalmente energizada. La conexión a tierra es para asegurar que, si tal falla ocurriese, entonces el potencial sobre todas las estructuras metálicas conductivas expuestas sea virtualmente el mismo. Dicho de otra manera, la conexión a tierra iguala el potencial en el interior del local, motivo por el cual las diferencias de potencial resultantes son mínimas, de este modo, se crea una “superficie equipotencial”.

La segunda función de un sistema de puesta a tierra es garantizar que cuando se produzca una falla a tierra, toda la corriente de falla que se origine, pueda retornar al sistema de una forma controlada: Por una forma controlada se entiende que la trayectoria de retorno está predeterminada, de tal modo que no ocurra daño al equipo o lesión a las personas. La conexión a tierra no es de capacidad infinita e impedancia nula. Sin embargo, la impedancia del sistema de tierra deberá ser lo bastante baja de modo que pueda fluir suficiente corriente de falla a tierra para que operen correctamente los dispositivos de

protección, los cuales a su vez provocarán la operación de interruptores o fusibles para interrumpir el flujo circulatorio de corriente.

2.1.3. Parámetros Característicos de un Sistema de Puesta a Tierra.

Los diferentes parámetros que intervienen en un sistema de puesta a tierra pueden ser calculados a partir de las características de la instalación, o determinados mediante ensayos en una instalación existente. Esto permite dimensionar los elementos adecuados para una instalación de puesta a tierra.

Tensión a tierra (V_t): Es el voltaje que se establece entre un electrodo de puesta a tierra y un punto a potencial cero, cuando a través del electrodo circula una corriente de falla (I_f).

Resistencia de puesta a tierra (R_t): Para un electrodo dado con configuraciones y dimensiones concretas, enterrado en un terreno de características dadas, la corriente de falla a tierra es proporcional a la tensión aplicada al electrodo. La resistencia de puesta a tierra resulta ser:

$$R_t = \frac{V_t}{I_f}; \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

Un aspecto importante son los límites de corriente tolerables por el cuerpo humano. El umbral de percepción se acepta generalmente como de aproximadamente 1 miliamperio, aunque se puede tolerar intensidades de corrientes superiores sin originar fibrilación si la duración es muy corta. La ecuación que liga los parámetros de la intensidad de corriente tolerable y el tiempo que puede soportarla un organismo es:

$$(Ik)^2 t = 0.0135; \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

De donde resulta:

$$Ik = \frac{0.116}{\sqrt{t}}; \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

$I_k \rightarrow$ Intensidad de corriente tolerable por el cuerpo humano y para fallas permanentes se considera el valor de $I_k = 0.009 \text{ A}$.

En donde I es el valor efectivo de la corriente que circula por el cuerpo y t es el tiempo de duración del choque eléctrico, que por lo general se toma un valor menor a tres segundos, 0.0135 es una constante de energía derivada empíricamente.

La circulación a tierra de las corrientes de falla, producen gradientes de voltaje sobre la superficie del suelo en las cercanías de los sistemas de tierra. Las diferencias de potencial tolerables se determinan de acuerdo con los conceptos de tensiones de paso, de contacto y de transferencia.

Tensión de paso (V_p): Es la tensión entre dos puntos del suelo, a una distancia de un metro, que puede resultar aplicada entre los pies de una persona que camine por un terreno afectado por el funcionamiento de una puesta a tierra. El voltaje de paso se expresa mediante:

$$V_p = (R_k + 2R_f)I_k; \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

En donde $R_f = 3\rho_s$ para cada pie, siendo ρ_s la resistividad superficial en $\Omega \text{ m}$; R_k es el valor de la resistencia del cuerpo, que puede variar, por lo que generalmente se recomienda tomar 1000Ω .

Tensión de contacto (V_c): Es la diferencia de potencial a la cual se puede ver sometido el cuerpo humano como consecuencia del contacto con la carcasa o estructuras metálicas de las máquinas y de equipos que en condiciones normales de operación están a potencial cero, pero que en caso de falla pueden estar energizados, la tensión de contacto resulta de la siguiente fórmula:

$$V_c = \left(R_k + \frac{R_f}{2} \right) I_k; \quad \text{Ecuación (2.5)}$$

Tensiones Transferidas (V_{tt}): Es la diferencia de potencial a tierra que aparece en las masas y elementos metálicos de una instalación de puesta a tierra como consecuencia del funcionamiento de otra toma de tierra cercana.

2.1.4. Métodos de puesta a Tierra

Hay que considerar la puesta a tierra de redes de potencia en primer lugar, ya que el método de puesta a tierra de estas redes influye fuertemente al método subsiguiente escogido en el interior de construcciones residenciales, comerciales o industriales.

Para realizar el diseño de puestas a tierra es necesario conocer las diferentes técnicas, que se desarrollarán en función de todos los detalles de los puntos que siguen a continuación:

2.1.4.1. Sistema no aterrizado

Este sistema no tiene una conexión a tierra formal, intencional o deliberada. Pueden existir algunas conexiones de alta impedancia para

instrumentación, por ejemplo el bobinado de un instrumento de medida (transformador de potencial o de corriente). En condiciones normales, la capacidad entre cada fase y tierra es sustancialmente la misma. El efecto es estabilizar el sistema respecto a la tierra de modo que en un sistema trifásico, el voltaje de cada fase a tierra es el voltaje estrella del sistema. El punto neutro, si existe y está presente, está en o cerca del potencial de tierra como se puede observar en la Figura 2.1.

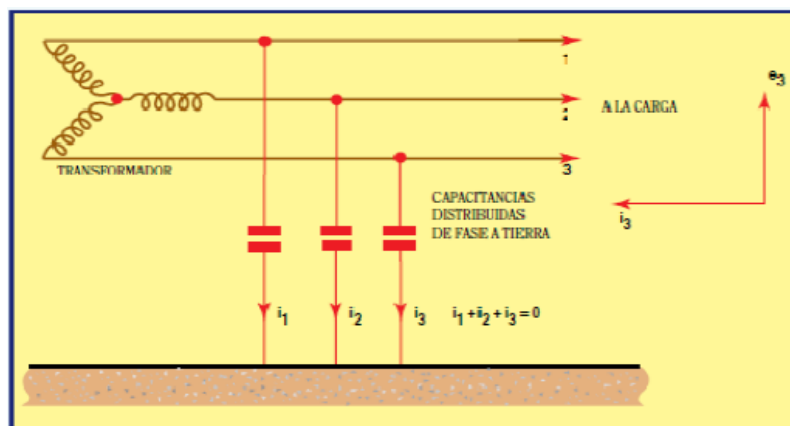


Figura 2.1. Corrientes capacitivas en un sistema trifásico

No son infrecuentes fallas en líneas de distribución aéreas, estas pueden ocurrir durante condiciones de mal tiempo, cuando caen ramas de árboles sobre las líneas. Entonces cuando se da el primer incidente, implicando un contacto entre un conductor y tierra, puede no haber daño porque no existe un circuito conductor cerrado que permita el flujo de corriente. Esto es diferente en un sistema aterrizado donde puede fluir una corriente significativamente alta. Es notorio a primera vista, el sistema no aterrizado aparenta ser un sistema más seguro y más confiable. Realmente fluye una corriente en un sistema no aterrizado, que retorna vía los acoplamientos capacitivos de las otras dos

fases. La corriente capacitiva que fluye en el punto de falla es tres veces la corriente capacitiva normal a tierra de cada fase del sistema completo. El daño producto de la primera falla probablemente sea leve, debido a que la corriente total es aún relativamente pequeña. Sin embargo, la corriente podría ser suficiente para provocar riesgo de electrocución si alguien tocara el conductor dañado.

Es lógico mencionar que la continuidad de servicio es un factor importante para el sistema de distribución, entonces un sistema no aterrizado puede tener algunas ventajas. Motivo por el cual, es probable que la aislación aplicada entre cada conductor de fase y tierra necesite incrementarse al menos al mismo nivel que la aislación entre diferentes fases, para controlar el riesgo por fallas monofásicas a tierra y por carga encerrada.

2.1.4.2. Sistema aterrizado

Un sistema aterrizado (o puesto a tierra) tiene al menos un conductor o punto (centro estrella) intencionalmente conectado a tierra. Debido a condiciones prácticas y de costo, esta conexión se realiza normalmente cerca de donde se unen los tres bobinados individuales de un transformador trifásico, es decir el neutro o el centro estrella.

Este método se adapta cuando hay necesidad de conectar al sistema cargas fase neutro, para prevenir que el voltaje neutro a tierra varíe con la carga.

La conexión a tierra tiene por objetivo reducir las fluctuaciones de voltaje y los desequilibrios que podrían darse de otra forma.

Una ventaja más es que puede usarse relés residuales para detectar fallas antes que se conviertan en fallas fase-fase. Esto puede reducir el daño real causado y la sollicitación impuesta en otras partes de la red eléctrica.

A continuación se indica la clasificación del tipo de puesta a tierra según el tipo de conexión instalada. Los principales tipos son:

✓ **Sistema de puesta a tierra mediante impedancia**

En este sistema se colocan deliberadamente resistores y/o reactancias en la conexión entre el punto neutro y tierra, normalmente esto se efectúa para limitar la corriente de falla a un nivel aceptable. En teoría, la impedancia puede ser lo bastante alta como para que fluya una corriente de falla poco mayor que en la situación de sistema no aterrizado. En la práctica, para evitar sobre voltajes transitorios excesivos debido a resonancia con la capacitancia en paralelo del sistema, las puestas a tierra inductivas deben permitir que fluya a tierra por falla al menos un 60% de la capacidad de cortocircuito trifásico. Esta forma de puesta a tierra tiene menor disipación de energía que la puesta a tierra resistiva.

También es utilizable como conexión a tierra bobinas de supresión de arco, también conocidos como bobinas de Peterson, o neutralizadores de falla a tierra. Estas son reactancias sintonizadas que neutralizan el acoplamiento capacitivo de las fases sanas y de este modo la corriente de falla es mínima. Dado que la naturaleza auto-compensada de este tipo de puesta a tierra, es efectiva en ciertas circunstancias en sistemas aéreos de media tensión, por ejemplo, aquellos que están expuestos a un alto número de fallas transitorias.

Con el uso de interruptores de reconexión automática se ha reducido el uso de este método de puesta a tierra en sistemas de alta y media tensión. La puesta a tierra por resistencia es de uso más común, porque permite limitar la corriente de falla y atenuar los sobre voltajes transitorios, eligiendo el valor correcto de resistencia. A inicios se utilizó resistencias líquidas.

Hoy en día es más común el uso de resistores del tipo cerámico. Estos requieren menos espacio, tienen menores costos de mantenimiento y luego del paso de la corriente de falla se enfrían más rápido que las resistencias líquidas usadas a inicios.

✓ **Sistema de puesta a tierra con baja impedancia (sólidamente puesto a tierra)**

Particularmente en bajo voltaje esta es una técnica muy común. En este sistema el neutro se conecta a tierra a través de una conexión adecuada en la cual no se agrega intencionalmente ninguna impedancia. Una de las desventajas de este arreglo es que las corrientes de falla a tierra son normalmente altas pero los voltajes del sistema permanecen controlados bajo condiciones de falla.

2.1.5. Dispositivos para Medir un Sistema de Puesta a Tierra.

2.1.5.1. Electrodo de Puesta a Tierra

El electrodo de puesta a tierra es un conductor generalmente metálico, que se halla directamente en contacto con el terreno. Las funciones del electrodo de puesta a tierra son:



Figura 2.2. *Electrodos de puesta a tierra.*

Mantener un buen contacto con el terreno, de tal forma que las partes metálicas de la instalación eléctrica que no conducen corriente y que se conectan al sistema de tierra se mantengan a una diferencia de potencial cero.

Proporcionar muchas trayectorias a tierra para las corrientes generadas por un sobre voltaje transitorio o por descargas atmosféricas, de tal forma que sean disipadas en forma instantánea.

Drenar las corrientes de fuga y las descargas electrostáticas a tierra, las cuales pueden generarse en las cubiertas metálicas de los equipos.

Los electrodos más utilizados, fáciles de instalar mantener y calcular son los electrodos artificiales, entre los cuales están las varillas, tubos, cables, placas, pilares y armaduras metálicas. La elección del tipo y número de electrodos depende de las necesidades previstas en el diseño.

2.1.5.2. Varillas.

Las varillas son electrodos artificiales de forma cilíndrica, fabricados generalmente de cobre o acero recubierto de cobre, de un diámetro mínimo de

14 mm. Se ha comprobado que la longitud de una varilla es un parámetro más importante que su diámetro, ya que al aumentar la longitud se consigue una menor resistencia a tierra. El valor de la resistencia a tierra está en relación directa con la resistividad del terreno, y en relación inversa a la longitud del electrodo.

La resistencia de la varilla de puesta a tierra depende de tres aspectos importantes: la resistencia de la varilla misma, la resistencia de contacto entre la varilla y la tierra, y la de la tierra que rodea la varilla.

La resistencia de la varilla tiene un valor muy pequeño y se considera despreciable.

La resistencia de contacto puede llegar a ser muy baja cuando el electrodo se mantiene libre de cualquier sustancia no conductora y el terreno se compacta firmemente contra él.

La resistencia de la tierra se puede visualizar como un electrodo rodeado de capas concéntricas de tierra del mismo grosor, la capa más cercana al electrodo tiene menor superficie y por lo tanto presenta una mayor resistencia.

Mientras las capas se encuentren más alejadas del electrodo se consigue un incremento en el área de las mismas, obteniendo así un gran número de trayectorias para el flujo de electrones y por lo tanto una menor resistencia.

Eventualmente, al aumentar capas a una distancia del electrodo ya no afectará de forma notable la resistencia total de la tierra alrededor del mismo. La distancia a la que este efecto ocurre se llama área de resistencia efectiva y es directamente proporcional a la profundidad del electrodo.

Teóricamente, la resistencia de tierra puede ser derivada de la siguiente fórmula general:

$$R = \frac{\rho L}{A}; \quad \text{Ecuación (2.6)}$$

En donde:

ρ = Resistividad del terreno.

L= Longitud del electrodo.

A= Área.

2.1.5.3. Placas.

Las placas son electrodos artificiales de forma cuadrada o rectangular, fabricados de cobre o de acero recubierto de cobre. Este tipo de electrodo ofrece una gran superficie de contacto con el terreno en relación a su espesor. La instalación de un electrodo de placa es más complicada y costosa que la instalación de una varilla ya que requiere de mayor mantenimiento y cuidado en el montaje.

2.1.5.4. Conductores Enterrados.

Los conductores enterrados se colocan en forma horizontal en canales bajo los cimientos de las edificaciones. Pueden ser cables o platinas, generalmente contruidos de cobre o acero y se instalan estirados o en trazados con curvaturas, a una profundidad suficiente para que se encuentren protegidos, y ésta no debe ser menor a 50 cm. Por debajo de la superficie. Los

canales o zanjas en los que se entierran los conductores deben ser rellenados de material que pueda retener la humedad.

2.1.5.5. Conductor del Electrodo de Tierra.

El conductor del electrodo de tierra, tiene la función de conectar los diferentes componentes del sistema de tierra al electrodo. El conductor del electrodo de tierra completa las siguientes trayectorias con el electrodo:

- ✓ La trayectoria desde el conductor conectado a tierra
- ✓ La trayectoria desde el conductor de tierra del equipo.

Generalmente, estos conductores son de cobre, aluminio o aluminio revestido de cobre, y deben resistir a las condiciones corrosivas. Pueden ser sólidos o multifilares, aislados o desnudos y no deben presentar empalmes.

2.1.5.6. Conectores.

Son los accesorios que permiten realizar la unión del conductor del sistema de tierra con el electrodo. Los conectores utilizados en los sistemas de tierra son de tres tipos:

- ✓ conectores atornillados
- ✓ conectores a presión, y;
- ✓ mediante soldadura exotérmica.

Los conectores atornillados se fabrican con bronce de alto contenido de cobre, lo que proporciona una alta resistencia mecánica y brinda protección contra la corrosión.

Los conectores a presión ofrecen mayor garantía de buen contacto que los conectores atornillados.

El proceso de soldadura exotérmica consiste en una mezcla de polvo de metal con moldes especiales de grafito. El polvo reacciona para producir cobre fundido, el cual fluye alrededor de los metales soldándolos y derritiéndolos ligeramente. El resultado es una unión permanente, robusta y de baja resistencia.

Las ventajas que brinda la soldadura en los sistemas de puesta a tierra son:

- ✓ Elimina los problemas que se derivan de la unión de dos metales, como son la corrosión y oxidación.
- ✓ Produce la continuidad física en la composición del material.
- ✓ La conductividad de la unión aumenta, ya que al aportar cobre a la unión se aumenta la sección del conductor en el empalme.

Todos los tipos de conectores deben soportar la corriente del sistema de tierra en forma continua, además de tener una alta resistencia mecánica y a la corrosión.

2.1.6. Puesta a Tierra del Circuito.

Tal como se indicó anteriormente, las razones por las que los circuitos y sistemas eléctricos deben conectarse a tierra son limitar el voltaje generado por: sobre voltaje, contacto no intencional con líneas de mayor voltaje, rayos; y

para estabilizar el voltaje durante la operación normal. Es decir que la puesta a tierra en un circuito busca brindar seguridad al personal y al equipo.

La puesta a tierra del circuito depende de la forma en que se conecte a tierra la fuente de energía. En los sistemas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, las masas están prácticamente siempre unidas a tierra; en generadores y transformadores los neutros pueden estar conectados a tierra o aislados.

Cuando los neutros se encuentran aislados, los voltajes entre las masas y las partes activas no se hallan definidos, por ejemplo al producirse una falla entre una fase y tierra, la fase averiada pasaría a tener una diferencia de potencial cero con respecto a tierra, mientras que el voltaje entre las fases restantes y tierra pasaría a ser igual al voltaje compuesto $V_{ft} = V_c = \sqrt{3}V_{fn}$. Por esta razón en los sistemas con neutro aislado todos los aislamientos entre fase y masas deben estar dimensionados para soportar el voltaje compuesto.

Si por el contrario, se conecta el punto neutro a tierra, los voltajes fase-masa serán iguales al valor del voltaje fase-neutro $V_{ft} = V_{fn}$, incluso si se produce una falla de aislamiento en cualquiera de las fases. Cuando en los sistemas con el punto neutro conectado a tierra se produce una falla de aislamiento a tierra, se originan corrientes de defecto que pueden dañar las partes del sistema por las que circulan. Estas corrientes de defecto pueden ser detectadas y facilitan la operación de los sistemas de protección.

Existen algunos sistemas eléctricos en los que se conecta el neutro a tierra a través de una impedancia, con la finalidad de que al originarse una falla las

corrientes de defecto, sean menores que en un sistema con neutro conectado sólidamente a tierra, y sobretensiones más bajas, en el caso de los sistemas con el neutro aislado.

En los sistemas de distribución, generalmente se utiliza el sistema monofásico a tres hilos y el sistema trifásico, cuya conexión puede ser en estrella o triángulo. Estos sistemas pueden ser conectados a tierra de diferente forma.

En la *Figura 2.3* se ilustra un sistema monofásico de 120/240 voltios de tres hilos, con el centro del devanado del transformador conectado a tierra, y usado como conductor neutro. En este sistema el voltaje a tierra no sobrepasa los 150 voltios.

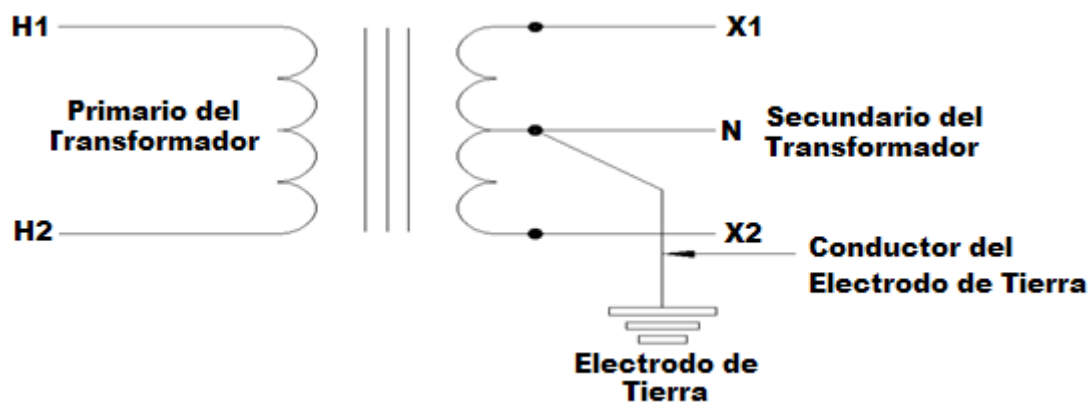


Figura 2.3. Sistema monofásico tres hilos (120/240 voltios)

2.1.7. Puesta a Tierra de Seguridad.

La puesta a tierra de seguridad, conocida también como puesta a tierra del equipo, es el conductor que une las partes metálicas que no transportan corriente en un equipo, al conductor del electrodo de tierra. Su objetivo principal es salvaguardar la vida del personal en el caso de producirse descargas eléctricas, y evitar los riesgos de incendio.

La tierra de seguridad brinda una trayectoria de baja impedancia para las corrientes de falla, lo que facilita la operación de las protecciones de los conductores. Además proporciona una referencia estable para el funcionamiento de los equipos electrónicos, y provee un punto común de conexión para el blindaje de los cables que se usan en la transmisión de datos, protegiéndolos contra las interferencias electromagnéticas.

Para que la tierra del equipo tenga una conexión efectiva de tierra, se debe considerar los siguientes criterios:

- ✓ Continuidad, esta depende de las conexiones eléctricas y mecánicas.
- ✓ Baja impedancia.
- ✓ Los conductores deben ser seleccionados en forma adecuada, de tal manera que transporten las corrientes de falla sin ningún peligro.
- ✓ El conductor de tierra del equipo debe estar conectado al conductor a tierra del sistema, al puente principal de unión y al conductor del electrodo de tierra en el tablero de distribución. Esto asegura la continuidad desde el conductor de tierra del equipo hasta el conductor conectado a tierra del sistema.
- ✓ Para identificar el conductor de tierra de seguridad se lo hace utilizando conductores desnudos, o con forro aislante de color verde continuo, o verde con rayas amarillas.

2.1.8. Fallas a Tierra.

Las fallas se dividen en dos tipos, directas o de fase, y fallas a tierra. Una falla directa sucede cuando existe un cortocircuito de fase a fase, o entre fase a neutro. La falla a tierra ocurre cuando un conductor de fase se conecta a tierra, es decir, que es una conexión accidental entre una fase y cualquier superficie conectada a tierra. En una falla a tierra aproximadamente circula el 75% de la corriente de una falla directa fase a fase.

Existen dos términos utilizados para referirse a los dispositivos de protección: **sobrecarga** y **sobre corriente**.

Una sobrecarga se produce cuando un conductor o un equipo conducen una corriente mayor a su capacidad nominal.

La sobre corriente es una corriente excesiva causada por un cortocircuito o una falla a tierra.

Algunos de los dispositivos de protección contra sobre corrientes son diseñados para enfrentar exclusivamente sobrecargas, y otros están diseñados para brindar protección contra sobrecargas y sobre corrientes.

Los fusibles e interruptores automáticos protegen contra las fallas directas, como las fallas de fase a tierra.

Al presentarse una falla a tierra, el conductor de tierra del equipo proporciona una trayectoria de baja impedancia para la corriente de falla, de tal forma que se complete el circuito y se active el dispositivo de protección, limitando así el tiempo de la falla.

Existe un dispositivo de protección, denominado interruptor diferencial, que desconecta el circuito en forma inmediata en caso de producirse una falla a tierra, siempre que la instalación esté conectada a tierra. Para que el interruptor diferencial se active, debe existir una falla que provoque una desigualdad entre la corriente de entrada y la de salida del circuito. El interruptor diferencial tiene sensibilidad para detectar fugas de corriente de 30 miliamperios y cortar el suministro de corriente al circuito en un tiempo de 30 milisegundos.

En el caso de una falla fase a fase (figura 2.4) la corriente total tiene que circular a través del interruptor del circuito, lo que proporciona a éste la oportunidad de dispararse.

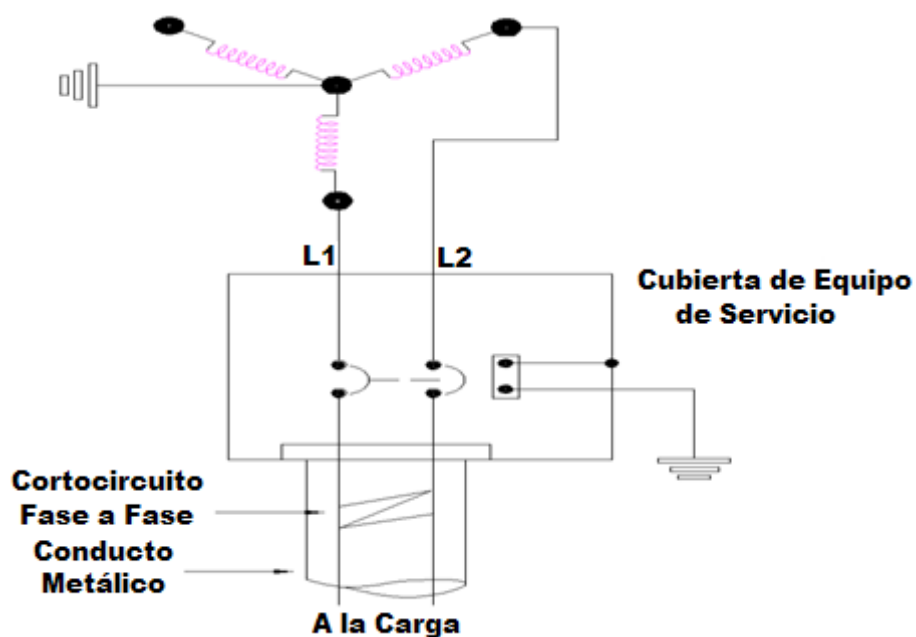


Figura 2.4. Cortocircuito fase-fase

En el caso de una falla fase a tierra, la situación es muy diferente al caso de un cortocircuito de fase a fase. En este caso no existe una trayectoria de baja

impedancia para el interruptor de protección contra sobre corriente, ya que se presentan ciertas oposiciones al flujo de corriente: impedancia del conducto metálico (Z1), impedancia del terreno (Z2), impedancia de la trayectoria del electrodo de tierra (Z3), impedancia de la trayectoria del electrodo de tierra del transformador (Z4). Al analizar el diagrama puede notarse que todas las impedancias se encuentran en serie, lo que da como resultado un valor de impedancia alto, por lo tanto el valor de la corriente será menor, y a su vez menor la probabilidad de que el interruptor de protección se active, extendiendo así el tiempo de duración de la falla.

2.1.9. Tipos de Terrenos.

Las características eléctricas del terreno dependen del tipo o naturaleza del mismo, por esta razón determinar el tipo de terreno es el primer paso para el diseño de un sistema de puesta a tierra adecuado. En la siguiente tabla se muestran algunos valores de resistividad para diferentes tipos de terreno.

Tabla 2.1. Resistividad según el tipo de terreno.

TIPO DE TERRENO	RESISTIVIDAD ($\Omega.m$)
Terrenos Pantanosos	Menor a 30
Humus	10 a 150
Limo	20 a 100
Turba Húmeda	5 a 100
Arcilla Plástica	50
Margas y Arcillas compactas	100 a 200
Arena Arcillosa	50 a 500
Arena Silíceea	200 a 3000

Suelo Pedregoso con césped	300 a 500
Suelo pedregoso	1500 a 3000
Calizas Blandas	100 a 300
Calizas Compactas	1000 a 5000
Calizas Agrietadas	500 a 1000
Rocas de mica y cuarzo	800

Para cálculos aproximados de resistencia de tierra pueden utilizarse:

Tabla 2.2. *Valores medios de resistividad.*

TIPO DE TERRENO	RESISTIVIDAD (Ω.m)
Terrenos fértiles compactos y húmedos	Menor a 30
Terrenos cultivables poco fértiles	10 a 150
Suelo pedregoso o desnudo, arenas secas permeables	20 a 100

2.1.9.1. Humedad.

La resistividad de un terreno se ve influenciada de una manera significativa por la cantidad de agua que contenga. Su valor varía con el clima, época del año y profundidad. Se puede citar como ejemplo que la resistividad del suelo se eleva considerablemente cuando el contenido de humedad se reduce a menos del 15% del peso de este. Pero un contenido de humedad mayor del 15% mencionado, causa que la resistividad sea prácticamente constante. En cualquier caso siempre que se aumenta agua en un terreno, su resistividad será menor a la que tendría en seco.

Por efecto de la evaporación natural de la superficie del terreno se produce un empobrecimiento del agua contenida en los agregados, fenómeno que se

propaga lentamente desde la superficie hasta los estratos más profundos. Este fenómeno tiene más importancia cuando más seco sea el clima del lugar y cuando más superficial sea la colocación del electrodo de tierra.

2.1.9.2. Temperatura.

Las características térmicas del terreno dependen de su compactación, composición y de su humedad. Al disminuir la temperatura del terreno, la resistividad aumenta, y ese aumento se nota aún más al llegar a los cero grados centígrados. Cuando un terreno se encuentra a una temperatura inferior a los cero grados, el agua que contiene se congela.

Desde el punto de vista eléctrico el hielo es aislante, ya que la movilidad de los iones a través del terreno se ve detenida al congelarse este.

2.1.9.3. Estratigrafía.

Los terrenos están conformados por diferentes capas de agregados y por lo tanto poseen diferentes valores de resistividad. La resistividad media o aparente será una combinación de la resistividad de las diferentes capas que conforman el terreno.

El desconocimiento de la resistividad de las capas inferiores obliga al estudio y medición de las mismas, para conocer el valor de la toma de tierra a una profundidad determinada. En ningún caso es conveniente extrapolar el resultado de la capa superficial, pues al existir variación en la composición del terreno en las capas inferiores, se puede encontrar un estrato de una

resistividad baja, o puede ocurrir todo lo contrario y encontrar un estrato de resistividad alta.

2.1.9.4. Salinidad.

La resistividad de un terreno es determinada principalmente por la cantidad de electrolitos que posee, es decir por la cantidad de humedad, minerales y sales disueltas. Al aumentar la salinidad de un terreno su resistividad disminuye.

Es importante recordar que el agua hace que las sales penetren hacia la parte interior del terreno, y que un riego excesivo o las lluvias pueden lavar el terreno, y por lo tanto arrastran las sales que rodean los electrodos, aumentando su resistividad

2.1.9.5. Compactación.

La resistividad del terreno disminuye al aumentar la compactación del mismo. Al colocar los electrodos se producirá una separación entre la varilla y el terreno, por lo que es necesario compactarlo para que exista un buen contacto varilla-terreno.

2.1.9.6. Granulometría.

La granulometría está relacionada con la porosidad y el poder retenedor de la humedad, e influye con la calidad del contacto con los electrodos. El valor de la resistividad de un terreno es mayor cuando las partículas que lo

conforman son de mayor tamaño, por esta razón la resistividad de la grava es mayor a la de la arena, y esta a su vez es mayor que la de arcilla.

2.1.10. Medición de Resistividad de un Terreno.

El método más utilizado para realizar estudios de resistividad de terreno es el método de Wenner, conocido también como de cuatro puntos, y considerado el más preciso, permite obtener un valor de resistividad media o aparente, dependiendo de los diferentes estratos y del espesor de cada uno de ellos.

El método consiste en la inserción de cuatro electrodos de prueba en línea recta y equidistantes a una distancia "a", simétricamente respecto al punto "0", en el cual se desea medir la resistividad del terreno. Un generador de corriente constante inyecta una corriente conocida al suelo mediante los electrodos exteriores, por lo tanto en los electrodos interiores existirá una caída de potencial, que está dada en función de la resistencia. La relación entre la diferencia de potencial y la intensidad es el valor de la resistencia que registra el equipo.

La profundidad de la capa de terreno en la que se realiza la medición es directamente proporcional a la separación entre los electrodos de prueba, esta profundidad de exploración es igual a 0.75 a. Es decir:

$$h = 0.75 a; \quad \text{Ecuación (2.7)}$$

En donde:

h = Profundidad del estrato de terreno.

a = Separación de los electrodos de prueba.

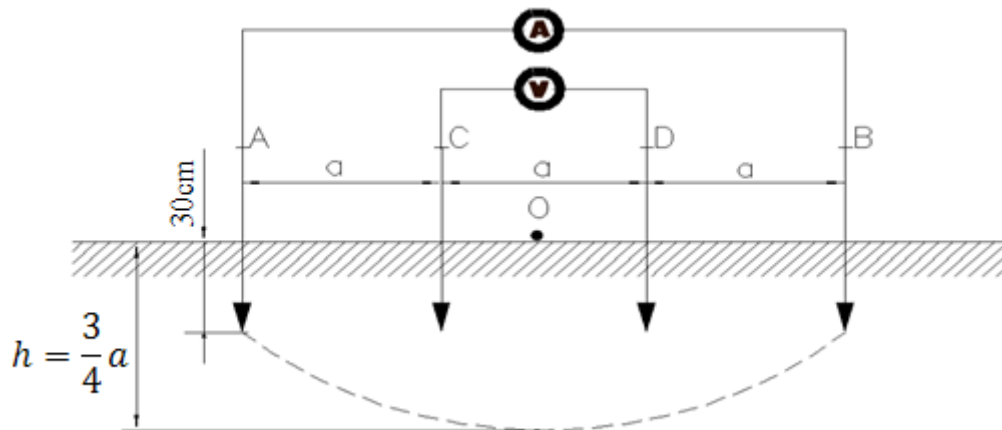


Figura 2.5. Diagrama de conexión método de Wenner.

El valor obtenido en la medición se reemplaza en la siguiente fórmula, con lo cual se obtiene el valor de la resistividad media o aparente del estrato de terreno.

$$\rho = \frac{4\rho a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 - b^2}}}; \text{ Ecuación (2.8)}$$

Dónde:

ρ = Resistividad aparente del terreno (Ohmios –metro)

a = Distancia entre los electrodos de prueba (metros)

b = Profundidad de los electrodos (metros)

R = Valor de resistencia obtenido en la medición (Ohmios)

2.1.11. Parámetros de Diseño.

Un sistema de puesta a tierra debe tener una resistencia tan baja como sea posible. En forma ideal la resistencia de un sistema de tierra debería ser

cero, para reducir cualquier voltaje o gradiente de potencial debido a las corrientes de falla, pero esto es prácticamente imposible. Debido a ello las normas técnicas indican que la resistencia a tierra no debe ser mayor a 10Ω . Sin embargo, por razones de seguridad, en algunos casos se requiere de una resistencia mucho menor.

En instalaciones para equipos electrónicos y comunicaciones el valor de la resistencia de puesta a tierra debe ser menor o igual a 5Ω . En áreas con una alta incidencia de descargas atmosféricas el valor no debe exceder a 1Ω . En fábricas y plantas industriales el valor de la resistencia a tierra debe ser inferior a 5Ω . En centrales de generación y subestaciones de energía eléctrica el valor no debe exceder a 1Ω .

Para diseñar un sistema de puesta a tierra que cumpla con las normas es necesario tomar en cuenta algunos factores: características del terreno, corrientes de cortocircuito o falla, dimensiones de los electrodos y de los conductores, tipo de instalación y resistencia de puesta a tierra. Mediante cálculos matemáticos y el análisis de los factores descritos anteriormente, es posible obtener un diseño adecuado que cumpla los requerimientos técnicos y económicos.

2.1.12. Consideraciones para Sistemas de Puesta a Tierra.

La construcción de un sistema de puesta a tierra debe satisfacer tres condiciones:

- ✓ El trabajo debe realizarse de manera eficiente, para disminuir los costos de instalación.
- ✓ El terreno, o material de relleno utilizado debe tener un índice de acidez que no cause corrosión al electrodo.
- ✓ Las uniones y conexiones deben ser construidas de tal manera que a futuro se evite la presencia de corrosión.

Las siguientes recomendaciones permiten conseguir una mayor eficiencia en la construcción e instalación de un sistema de puesta a tierra, además de garantizar su correcto funcionamiento y vida útil.

- ✓ Colocar los electrodos en el sector de menor resistividad del terreno.
- ✓ Los electrodos no deben colocarse cerca de muros, cimientos y rocas, ya que estos impiden que circulen las posibles corrientes de falla.
- ✓ La distancia a muros o cimientos debe ser en lo posible superior a tres metros.
- ✓ En caso de que exista un centro de transformación, la distancia entre las puestas a tierra del transformador y del edificio debe ser como mínimo 15 metros.
- ✓ El método de instalación, relleno y conexiones depende del tipo de sistema de electrodos a usar, y de las condiciones del terreno. Generalmente los electrodos más utilizados son las varillas, debido a la facilidad de su instalación y bajo costo.

En el caso de utilizar dos o más electrodos, es necesario evitar la influencia recíproca entre estos, ya que ello impide la reducción de la resistencia. En

realidad, si dos electrodos están muy próximos la resistencia de puesta a tierra combinada puede ser virtualmente igual a la un electrodo, por ello la distancia de separación recomendable es de 2 veces la longitud de la varilla.

Cuando en una edificación existan varias puestas a tierra (tierra aislada, tierra de potencia, tierra de pararrayos) estas deben estar interconectadas, ya que así se consigue reducir las diferencias de potencial entre las partes de la instalación, baja la resistencia global y su costo es menor. De esta manera se logra distribuir mejor las corrientes de falla, y sobre todo es más segura y confiable.

De esta regla deben excluirse aquellas puestas a tierra a causa de las cuales puedan presentarse tensiones peligrosas para las personas, bienes e instalaciones eléctricas. Tal es el caso para la tierra del punto neutro de baja tensión de los transformadores que alimentan a clientes distantes. En caso de falla en el aislamiento entre alta tensión y las masas de esa instalación, la interconexión de la tierra del neutro de baja tensión (tierra de servicio) con la tierra de las masas de la instalación (tierra general, de protección y servicio) propagaría a aquellos, tensiones que podrían ser en ciertos casos excesivas.

La máxima diferencia de potencial que puede aparecer entre el neutro de baja tensión y una tierra lejana, no afectada, debe situarse por debajo de 1000 voltios.

2.1.13. Calibres para Conductor de Electrodo de Tierra.

Como se indicó anteriormente, el propósito fundamental del conductor del electrodo de tierra es conectar el electrodo a los diferentes componentes del sistema.

Los criterios básicos para la selección del conductor del electrodo de tierra son:

- ✓ Estabilidad térmica en las corrientes de falla a tierra.
- ✓ Resistencia mecánica.
- ✓ Resistencia a las condiciones corrosivas.
- ✓ Conductividad adecuada.

Desde el punto de vista de las consideraciones térmicas, el calibre del conductor depende de los siguientes factores:

- ✓ El valor de la corriente de falla a tierra.
- ✓ El tiempo interrupción de la falla.
- ✓ El material del conductor.

Es importante indicar que el factor límite para la selección del conductor, es el tamaño del electrodo, ya que de ello depende la cantidad de electrones que pueda disipar durante un tiempo determinado. Cuando se usa un conductor de gran tamaño, el electrodo de tierra carece de la capacidad para permitir el flujo de electrones, por lo tanto se requiere utilizar un electrodo de mayor longitud.

Es recomendable que el calibre del conductor del electrodo de tierra no sea menor que el que se muestra a continuación, en la tabla 2.3 para conductores de cobre y de aluminio.

Tabla 2.3. *Calibre del conductor del electrodo de tierra.*

CALIBRE DEL CONDUCTOR DE LA ACOMETIDA	CALIBRE DEL CONDUCTOR DEL ELECTRODO DE TIERRA	
	AWG	COBRE AWG
2, ó Menor	8	6
1, ó 1/0	6	4
2/0 – 3/0	4	2
4/0 a 350 MCM	2	1/0
400 a 600 MCM	1/0	3/0
Mayor a 600MCM a 1100 MCM	2/0	4/0
Más de 1100 MCM	3/0	250

Tabla 2.4. *Calibre del conductor de puesta a tierra del equipo.*

CAPACIDAD DEL DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE TIERRA DEL EQUIPO	
	AMPERIOS	COBRE AWG
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0

En el caso del conductor de tierra del equipo, el calibre del mismo se selecciona de acuerdo con la capacidad o límite de operación del dispositivo

de protección contra sobre corriente del circuito. Una consideración importante es que el calibre del conductor de tierra del equipo no sea mayor que el de los conductores del circuito. En la tabla 2.4 se muestran los calibres permitidos. En el caso de transformadores, el procedimiento para el cálculo teórico del calibre del conductor de tierra es el siguiente:

- Cálculo de la corriente máxima en el secundario (Transformador trifásico):

$$I_{sec} = \frac{S}{V\sqrt{3}} \quad \text{Ecuación (2.9)}$$

En donde:

I_{sec} = Corriente de cortocircuito en el secundario en amperios.

S = Potencia aparente del transformador en voltamperios.

V = Voltaje en el secundario en voltios.

- Cálculo de corriente máxima en el secundario (Transformador Monofásico):

$$I_{sec} = \frac{S}{V} \quad \text{Ecuación (2.10)}$$

En donde:

I_{sec} = Corriente de cortocircuito en el secundario en amperios.

S = Potencia aparente del transformador en voltamperios.

V = Voltaje en el secundario en voltios.

- Cálculo de la corriente de cortocircuito simétrica máxima:

$$I_{ccm\acute{a}xima} = \frac{100\%}{Z\%} I_{sec} \quad \text{Ecuación (2.11)}$$

En donde:

$I_{ccm\acute{a}x}$ = Corriente de cortocircuito máxima simétrica, en amperios.

Z = Impedancia.

I_{sec} = Corriente de cortocircuito en el secundario en amperios.

- Cálculo de la corriente de cortocircuito asimétrica máxima:

$$I_{ccas\acute{m}} = I_{ccm\acute{a}x} \times F_{as\acute{m}} \quad \text{Ecuación (2.12)}$$

En donde:

$I_{ccas\acute{m}}$ = Corriente de cortocircuito asimétrica, en amperios

$I_{ccm\acute{a}x}$ = Corriente de cortocircuito máxima, en amperios.

$F_{as\acute{m}}$ = Factor de asimetría = 1.25, factor que depende de la relación X/R en el punto de falla.

- Cálculo del conductor de puesta a tierra.

$$A = I \sqrt{\frac{33s}{\log\left(\frac{T_m - T_a}{234 - T_a} + 1\right)}} \quad \text{Ecuación (2.13)}$$

En donde:

A = Área del conductor en milésimas circulares (cmils).

I = Corriente máxima de falla a tierra en amperios.

S = Tiempo de duración de la falla.

T_m = Temperatura de máxima de fusión, en °C, véase tabla 1-7.

T_a = Temperatura ambiente en °C.

Los calibres mínimos recomendados se pueden aumentar cuando se necesite disminuir la impedancia o incrementar la resistencia mecánica del conductor.

Los valores obtenidos mediante el cálculo matemático, se comparan con los datos de la tabla 2.5 y se determina el calibre del conductor.

Tabla 2.5. Selección del calibre del conductor de puesta a tierra.

CALIBRE AWG	ÁREA CIRCULAR MIL
18	1620
16	2580
14	4110
12	6530
10	10380
8	16510
6	26240
4	41740
3	52620
2	66360
1	83690
1/0	105600
2/0	133100
3/0	167800
4/0	211600

Tabla 2.6. Temperatura máxima de fusión.

DESCRIPCIÓN	TEMPERATURA FUSIÓN °C
Alambre de cobre recocido	1083
Alambre de cobre duro	1084
Núcleo de acero con revestimiento de cobre	1084-1300
Alambre de aluminio	657

Aleación de aluminio	660
Alma de acero con recubrimiento de aluminio	660-1300
Alma de acero con cubierta de zinc	419-1300
Acero inoxidable	1400

De acuerdo a las normas, se conectará la puesta a tierra en todos los terminales y divisiones de las redes de baja tensión urbanas, en las estructuras terminales de las redes de baja tensión, mayores a 200 metros medidos a partir del transformador.

2.1.14. Cálculo de Resistencia de Puesta a Tierra.

El electrodo más utilizado en los sistemas de puesta a tierra es la varilla de cooperweld, ya que por su longitud es posible que entre en contacto con las capas de terreno húmedas, lo que permite obtener un valor de resistencia bajo. Si no se logra un valor de resistencia de puesta a tierra bajo con el uso de una varilla, se pueden colocar varios electrodos conectados por medio de un conductor de cobre desnudo, en diferentes configuraciones. Los electrodos que se unen eléctricamente se consideran como un solo electrodo, y es necesario que la separación entre ellos sea como mínimo dos veces su longitud.

El valor de la resistencia del sistema de tierra varía de acuerdo a la configuración de sus electrodos, experimentalmente se ha comprobado los valores que se muestran en la tabla 2.7.

Tabla 2.7. Porcentaje de reducción de resistencia en función de las configuraciones.

CONFIGURACIÓN	VALOR DE RESISTENCIA
Un electrodo	100%
Dos electrodos	55%
Tres electrodos en línea	38%
Tres electrodos en triángulo	35%
Cuatro electrodos en simetría	28%
Ocho electrodos en simetría	16%

Los valores de resistencia de puesta a tierra teóricos, se calculan mediante las siguientes fórmulas:

- ✓ Resistencia de un electrodo.

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \frac{4L}{r} - 1 \right] \quad \text{Ecuación (2.14)}$$

Dónde:

R = Resistencia de puesta a tierra en ohmios.

ρ = Resistividad del terreno en ohmios-metro.

L = Longitud del electrodo en metros.

r = Radio del electrodo en metros.

- ✓ Resistencia de dos electrodos.

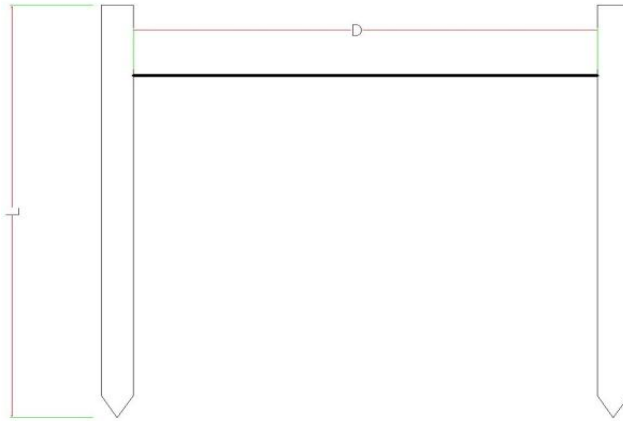


Figura 2.6. Sistema de dos electrodos.

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln \frac{4L}{r} - 1 \right] + \frac{\rho}{4d} \left[1 - \frac{L^2}{3d^2} + \frac{2L^4}{5d^4} \right]; \text{ Ecuación (2.15)}$$

Dónde:

R = Resistencia de puesta a tierra en ohmios.

ρ = Resistividad del terreno en ohmios-metro.

L = Longitud del electrodo en metros.

r = radio del electrodo en metros.

d = Distancia de separación entre electrodos en metros.

2.1.15. Constitución de una Puesta a Tierra

La resistencia ofrecida al paso de la corriente eléctrica a través de un electrodo hacia el suelo tiene tres componentes principales (ver grafica 2.5):

- ✓ **Resistencia del electrodo (metal):** La cual es despreciable en comparación con el ítem 3.
- ✓ **Resistencia de contacto entre el electrodo y el suelo:** Se puede despreciar si el electrodo está exento de cualquier cubierta aislante

como tintas, pinturas, grasa, etc.; y si la tierra está bien compactada en la zona de contacto de sus paredes.

- ✓ **Resistencia de la tierra circundante:** ésta es realmente la componente que influye en el valor de la resistencia de una puesta a tierra y depende básicamente de la resistividad del suelo y de la distribución de la corriente proveniente del electrodo.

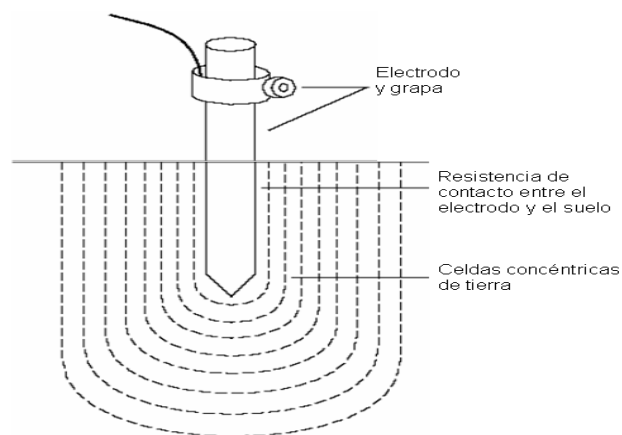


Figura 2.7. Elementos que constituyen una puesta a tierra.

2.2. TIPOS DE PUESTA A TIERRA

2.2.1. Barras

Esta es la forma más común de electrodos, cuando no se requiere controlar los potenciales de superficie. Su costo de instalación es relativamente bajo y pueden usarse para alcanzar en profundidad, capas de terreno de baja resistividad

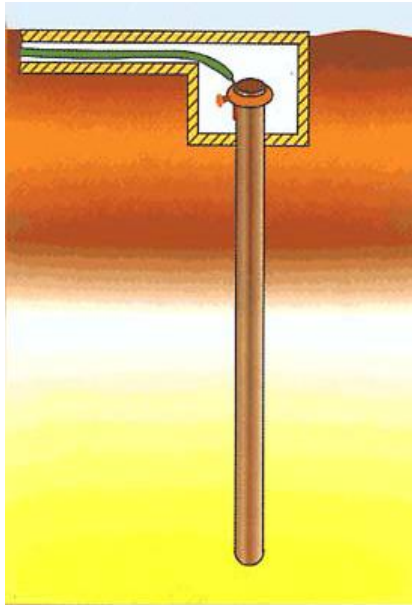


Figura 2.8. *Sistema de Puesta a tierra con una Barra*

2.2.2. Electrodo horizontales.

Están hechos de cintas de cobre de alta conductividad o conductores retorcidos (cables). La cinta es el material más conveniente pues para una sección dada de material presenta una mayor superficie y se considera que tiene un comportamiento mejor a alta frecuencia. Puede ser más difícil de conectar (por ejemplo a barras verticales), de modo que puede significar un costo de instalación levemente mayor.

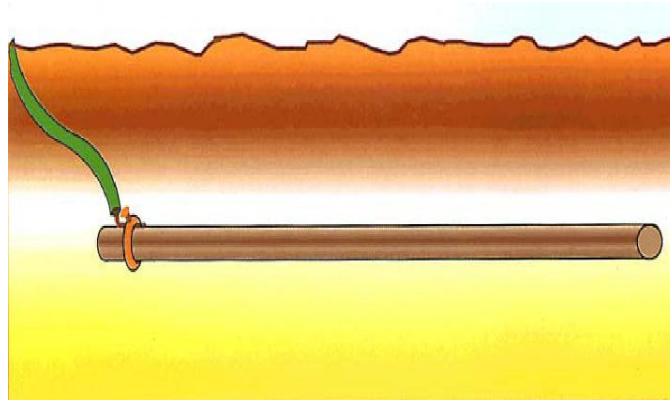


Figura 2.9. Sistema de Puesta a tierra con una Barra

2.2.3. Mallas de tierra

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 resistencia

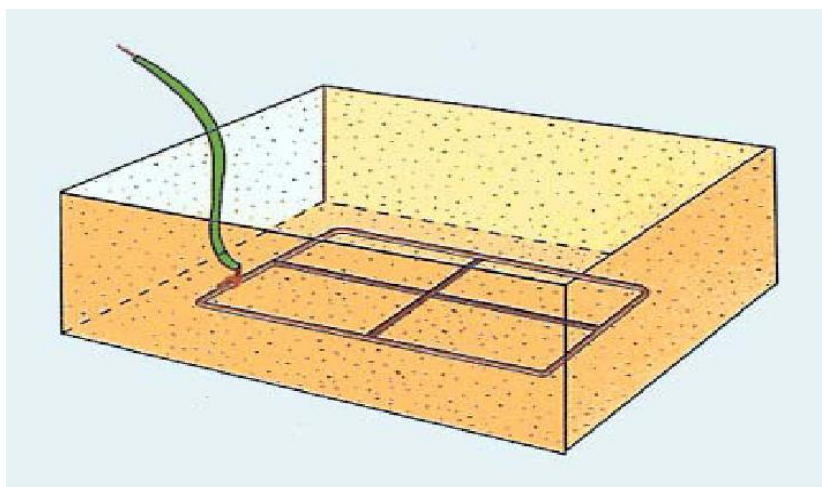


Figura 2.10. Sistema de Puesta a tierra mallada

2.3. TELURÓMETROS

2.3.1. Definición

Es un instrumento que sirve para medir la resistencia de la Puesta a Tierra en ohmios y así poder determinar el estado en que se encuentra el pozo. Hay algunos modelos que tienen la opción de medir la resistividad del terreno, que es un dato fundamental y básico para seleccionar el tipo de pozo a implementar.



Figura 2.11. Kit de un *telurómetro*

2.4. TELURÓMETRO 3123

Un telurómetro es un equipo profesional para efectuar mediciones en sistemas de Puesta a Tierra en parámetros de voltaje y resistencia así como también nos sirve para saber si los valores de resistividad son los adecuados.

En caso contrario, se tratará la tierra con productos específicos para bajar la conductividad de la tierra.



Figura 2.12. Foto del telurómetro 3123

El telurómetro o medidor de tierra (metril 3123). Consta de:

- ✓ Cuatro piquetas de acero o acero cobreado de 23.5 cm de longitud y 14 mm de diámetro.
- ✓ Adicionalmente a los cables que lleva el telurómetro de origen, 4 cables flexibles y aislados de las mismas características que los correspondientes a los testigos de tensión e intensidad de una longitud de 4.5 metros y 20 metros respectivamente, en carretes independientes para enrollar y transportar.

- ✓ Grapas de conexión, pinzas de cocodrilo u otro sistema que asegure la perfecta conexión de picas y testigos a sus respectivos cables del medidor.
- ✓ Maza para clavar las piquetas, cinta métrica, herramientas y útiles de uso general.
- ✓ Una pinza amperimétrica A1018

2.4.1. Conductores Tipo Lagarto.

Conductor tipo lagarto color negro.

Este conductor es de cobre flexible con chaqueta color negro con una longitud de 20 metros, las mismas que constan con un lagarto en él un extremo y en el otro extremo tiene un plug. El plug va conectado al telurómetro al borne denominado con la letra (H) y el lagarto va conectado al electrodo o varilla a tierra.



Figura 2.13. *Conductores tipo lagarto negro*

Conductor tipo lagarto color verde.

Este conductor es de cobre flexible con chaqueta color verde con una longitud de 20 metros, las mismas que constan con un lagarto en él un

extremo y en el otro extremo tiene un plug. El plug va conectado al telurómetro al borne denominado con la letra (S) y el lagarto va conectado al electrodo o varilla a tierra.



Figura 2.14. *Conductores tipo lagarto verde*

Conductor tipo lagarto color rojo.

Este conductor es de cobre flexible con chaqueta color rojo con una longitud de 4.5 metros, las mismas que constan con un lagarto en él un extremo y en el otro extremo tiene un plug. El plug va conectado al telurómetro al borne denominado con la letra (ES) y el lagarto va conectado al electrodo o varilla a tierra.

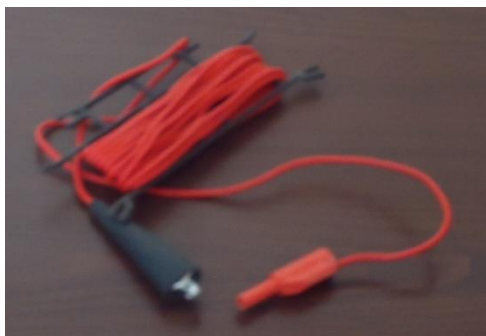


Figura 2.15. *Conductores tipo lagarto rojo*

Conductor tipo lagarto color azul.

Este conductor es de cobre flexible con chaqueta color azul con una longitud de 4.5 metros, las mismas que constan con un lagarto en él un extremo y en el otro extremo tiene un plug. El plug va conectado al telurómetro al borne denominado con la letra (E) y el lagarto va conectado al electrodo o varilla a tierra.



Figura 2.16. *Conductores tipo lagarto*

2.4.2. Electrodo o Piquetas a Tierra

Estas varillas son de hierro con una longitud de 23.5 cm de longitud, estas van conectadas a los 4 cables antes mencionados y nos permiten medir la resistividad de la tierra.

Las varillas son electrodos artificiales de forma cilíndrica, fabricados generalmente de cobre o acero recubierto de cobre, de un diámetro mínimo de 14 mm.



Figura 2.17. Electroodos o piquetas a tierra.

2.2.3. Pinza Amperimétrica

La pinza amperimétrica es un tipo especial de amperímetro que permite obviar el inconveniente de tener que abrir el circuito en el que se quiere medir la corriente para colocar un amperímetro clásico.



Figura 2.18. Pinza amperimétrica

El funcionamiento de la pinza se basa en la medida indirecta de la corriente circulante por un conductor a partir del campo magnético o de los campos que dicha circulación de corriente genera. Recibe el nombre de pinza porque consta

de un sensor, en forma de pinza, que se abre y abraza el cable cuya corriente queremos medir.

Este método evita abrir el circuito para efectuar la medida, así como las caídas de tensión que podría producir un instrumento clásico. Por otra parte, es sumamente seguro para el operario que realiza la medición, por cuanto no es necesario un contacto eléctrico con el circuito bajo medida ya que, en el caso de cables aislados, ni siquiera es necesario levantar el aislante.

Para utilizar una pinza, hay que pasar un solo conductor a través de la sonda, si se pasa más de un conductor a través del bucle de medida, lo que se obtendrá será la suma vectorial de las corrientes que fluyen por los conductores y que dependen de la relación de fase entre las corrientes.

Si la pinza se cierra alrededor de un cable paralelo de dos conductores que alimenta un equipo, en el que obviamente fluye la misma corriente por ambos conductores (y de sentido o fase contrarios), nos dará una lectura de "cero".

Por este motivo las pinzas se venden también con un accesorio que se conecta entre la toma de corriente y el dispositivo a probar. El accesorio es básicamente una extensión corta con los dos conductores separados, de modo que la pinza se puede poner alrededor de un solo conductor.

La lectura producida por un conductor que transporta una corriente muy baja puede ser aumentada pasando el conductor alrededor de la pinza varias veces (haciendo una bobina), la lectura real será la mostrada por el instrumento dividida por el número de vueltas, con alguna pérdida de precisión debido a los efectos inductivos.

2.2.4. Cargador

El cargador puede estar alimentado con una tensión entre 110V a 125V de corriente alterna con una frecuencia de 60Hz, el mismo que internamente posee un transformador reductor que suministra 12 voltios, que posteriormente son rectificadas y reguladas para entregar 12 voltios de corriente directa, necesarios para recargar las baterías alcalinas del telurómetro.



Figura 2.19. Cargador de baterías del telurómetro

III. MATERIALES

3.1. MATERIALES PARA MEDICIÓN DE PUESTAS A TIERRA

A continuación se describen los principales materiales necesarios para la medición y comprobación de una puesta a tierra, además de la resistividad que tienen los distintos tipos de suelos existentes, a través de los cuales se instalan las redes eléctricas.

CANTIDAD	MATERIAL
1	Telurómetro metril 3123
1	Conductor de punta auxiliar H de color negro 20 de metros de longitud
1	Conductor de punta auxiliar S de color verde 20 de metros de longitud
1	Conductor de punta auxiliar ES de color rojo de 4.5 metros de longitud
1	Conductor de punta auxiliar E de color azul de 4.5 metros de longitud
4	Carillas de puesta a tierra 23.5 cm
1	Pinza amperimétrica A 1018
6	Baterías recargables AA MINAMOTO
1	Cargador del telurómetro
1	Flexómetro

IV. PROCESO METODOLÓGICO EMPLEADO

4.1. PROCESO METODOLÓGICO.

En la aplicación de medición de puestas a tierra con un telurómetro, se toma como sujeto de estudio la ciudadela “Los Geranios”, ubicada al sur de la ciudad de Loja.

El estudio inicia con la realización de un levantamiento de la planimetría respectiva de toda la ciudadela, en la cual consten las redes de media y baja tensión (MT/BT); además de la ubicación de puestas a tierra en finales de circuitos y transformadores, así como también el calibre del conductor de cobre y aluminio de las puestas a tierra existentes.

Teniendo en cuenta la diferencia de resistividad que hay entre estos dos materiales que generalmente son utilizados en los sistemas de puesta a tierra, es conveniente dividir la red de Media Tensión en circuitos, lo que facilitará enormemente el estudio.



Figura 4.1. Vista vertical de un Sistema a Tierra Residencial.

4.2. CIRCUITOS DE LA CIUDADELA “LOS GERANIOS”

4.2.1. Circuito A

Se encuentra ubicado en la intersección de las calles Crisantemos y Arrayases, con un transformador de 25 KVA de código o SICAP #11800, en una estructura tipo 1CP/ 4ED y poste11H.



4.2.2. Circuito B

Se encuentra ubicado en la intersección de las calles Crisantemos y Gardenias, con un transformador de 25 KVA de código o SICAP #11799, en una estructura tipo 1CA/4EP y poste11H.



4.2.3. Circuito C

Se encuentra ubicado en la intersección de las calles Crisantemos, Gardenias y Violetas, con un transformador de 37 KVA de código o SICAP #1455, en una estructura tipo 1CA /4EP y poste 11H.



4.2.4. Circuito D

Se encuentra ubicado en la intersección de las calles Gardenias y Orquídeas, con un transformador de 37 KVA de código o SICAP #1457, en una estructura tipo 1CR /4EP y poste 11H.



4.2.5. Circuito E

Se encuentra ubicado en las calles Crisantemos entre Amapolas y Claveles, con un transformador de 25 KVA de código o SICAP #10527, en una estructura tipo 1CA/4EP y poste 11H.



4.2.6. Circuito F

Se encuentra ubicado en la intersección de las calles Crisantemos y Lirios, con un transformador de 25 KVA de código o SICAP #1459, en una estructura tipo 1CP/4EP y poste 11H.



4.2.7. Circuito G

Se encuentra ubicado en la intersección de las calles Crisantemos y Rosas, con un transformador de 15 KVA de código o SICAP #1333, en una estructura tipo 2 (1CR)/4EP y poste 11H.



4.2.8. Circuito H

Se encuentra ubicado en la intersección de las calles 18 de Noviembre y Lirios, con un transformador de 25 KVA de código o SICAP #1450, en una estructura tipo 1CP/4EP y poste 11H.



4.2.9. Circuito I

Se encuentra ubicado en las calles 18 de Noviembre entre Claveles y Gardenias, con un transformador de 15 KVA de código o SICAP #1454, en una estructura tipo 1CP/4ED y poste 11H.



4.2.10. Circuito J

Se encuentra ubicado en la intersección de las calles 18 de Noviembre y Claveles, con un banco de transformadores monofásicos en conexión triángulo de 10 KVA de código o SICAP #10010/10011/10012, en una estructura tipo 3CD/1ER y poste 11R.



Tabla 4.1. Características de los Circuitos Divididos en la Ciudadela “Los Geranios”

CIRCUITOS	SICAP	kVA	ELECTRODO	CONDUCTOR	OBSERVACIONES
A	11800	25kVA	1.8m	CU#4 desnudo	Suelo recubierto de césped con lastre
B	11799	25kVA	1.8m	AL#2 desnudo	Suelo recubierto de césped con lastre
C	1455	37kVA	1.8m	CU#4 desnudo	Suelo con concreto
D	1457	37kVA	1.8m	CU#4 desnudo	Suelo con concreto
E	1459	25kVA	1.8m	CU#4 desnudo	Suelo con concreto
F	1333	25kVA	1.8m	AL# 2 desnudo	Suelo con concreto
G	Final de circuito	15kVA	1.8m	xxxxxx	No existe puesta a tierra
H	1454	25kVA	1.8m	CU#6 desnudo	Suelo con concreto
I	1452	15kVA	1.8m	AL # 2 desnudo	Suelo con concreto
J	1010/1011 1012	3(10kVA)	1.8m	CU#4 desnudo	Suelo cubierto de césped

4.3. Principio de Funcionamiento para Medición con Telurómetro

El método de Wenner consiste en medir la resistividad del suelo, para esto se insertarán 4 electrodos en el suelo. Los cuatro electrodos se colocan en línea recta y a una misma profundidad de penetración.

Las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre los electrodos y de la resistividad del terreno; y por el contrario, no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra.

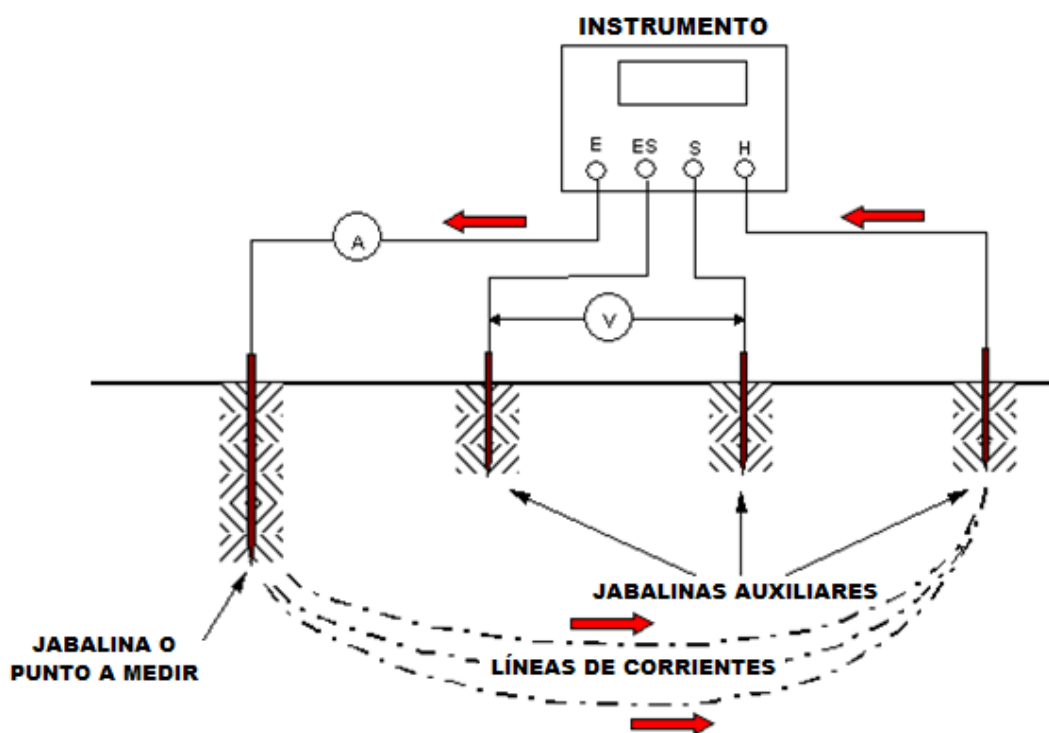


Figura 4.2. Esquema para Medición de Puesta a Tierra del Método de Wenner.

V. RESULTADOS

5.1. RESULTADOS

Las mediciones que a continuación se describen, fueron realizadas con la ayuda del telurómetro, y la utilización del método de Wenner; en la adquisición de datos de resistencia de puesta a tierra y la resistividad de los distintos tipos de terrenos en donde se encuentran los circuitos existentes en la ciudadela “Los Geranios”.

5.2. MEDICIÓN DE LAS PUESTAS A TIERRA DE LOS CIRCUITOS EXISTENTES.



Figura 5.1. *Fotografía de Medición de Resistencia de un Terreno*

5.1.1. CIRCUITO A

Tabla 5.1: Características del Transformador A

MÉTODO DE MEDICIÓN	
TRANSFORMADOR	25 KVA
SICAP	11800
TIPO	Monofásico.
UBICACIÓN	Calle Crisantemos y Arrayases
RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	14,03 Ω
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,673
RESISTIVIDAD DEL TERRENO	16,50 Ω m.
CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO	Contiene cascajo, cubierto de concreto.
OBSERVACIONES	Interferencia 5mA.

Tabla 5.2: Mediciones de resistencia de terreno del Transformador A

Nro.	ESTRATO	RESISTENCIA (Ω)
1	1,8m	10,88
2	1,8m	10,12
3	1,8m	11,60
4	1,8m	13,17
5	1,8m	11,01

Tabla 5.3: Mediciones de resistividad del terreno del Transformador A

Nro.	DISTANCIA ENTRE PICAS (m)	RESISTIVIDAD (Ω m)
1	1	17,00
2	2	16,80
3	3	16,50

OBSERVACIONES:

El final de circuito consta de una estructura en B/T 4ED en poste de 11H, en este final de circuito no existe puesta a tierra la misma que según la

normativa debería existir por lo que se procedió a medir en tierra húmeda en una área del terreno de 4mt x4mt de longitud la resistividad del terreno obteniendo los siguientes resultados.

$$R= 5.88$$

$$R\rho=36.3\Omega$$

$$Rc=1100m\ \Omega$$

Lo que nos indica que existe valores óptimos de resistividad en la tierra lo que nos será de gran utilidad para colocar una puesta a tierra y así proteger la red de BT (Baja Tensión).

La ubicación de las picas al momento de realizar las mediciones se detallan a continuación.

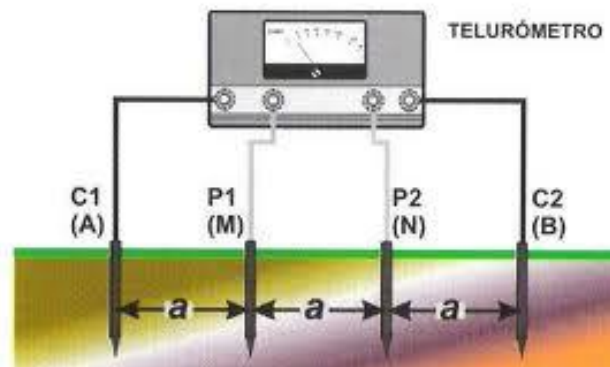


Figura 5.2. Conexión del telurómetro, ubicación y distancia entre picas

Donde:

a → es la distancia existente entre las picas colocadas sobre el terreno, para la realización de las mediciones

5.1.2. CIRCUITO: B

Tabla 5.4: Características del Transformador B

MÉTODO DE MEDICIÓN	
TRANSFORMADOR	25 KVA
SICAP	11799
TIPO	Monofásico.
UBICACIÓN	Calles Crisantemos y Gardenias.
RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	25 Ω
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,673
RESISTIVIDAD DEL TERRENO	23,70 Ω m.
CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO	Contiene cascajo, cubierto de concreto.
OBSERVACIONES	Interferencia 5mA.

Tabla 5.5: Mediciones de resistencia de terreno del Transformador B

Nro.	ESTRATO	RESISTENCIA (Ω)
1	1,8m	24,88
2	1,8m	24,12
3	1,8m	23,60
4	1,8m	24,17
5	1,8m	24,01

Tabla 5.6: Mediciones de resistividad del terreno del Transformador B

Nro.	DISTANCIA ENTRE PICAS (m)	RESISTIVIDAD (Ω m)
1	1	23,10
2	2	22,50
3	3	23,70

5.1.3. CIRCUITO C

Tabla 5.7: Características del Transformador C

MÉTODO DE MEDICIÓN	
TRANSFORMADOR	37 KVA
SICAP	1455
TIPO	Monofásico.
UBICACIÓN	Calles Crisantemos y Violetas.
RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	22,4 Ω
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,673
RESISTIVIDAD DEL TERRENO	13,92 Ω m.
CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO	Contiene cascajo, cubierto de concreto.
OBSERVACIONES	Interferencia 4mA.

Tabla 5.8: Mediciones de resistencia de terreno del Transformador C

Nro.	ESTRATO	RESISTENCIA (Ω)
1	1,8m	21,73
2	1,8m	20,95
3	1,8m	21,26
4	1,8m	22,17
5	1,8m	20,01

Tabla 5.9: Mediciones de resistividad del terreno del Transformador C

Nro.	DISTANCIA ENTRE PICAS (m)	RESISTIVIDAD (Ω m)
1	1	13,56
2	2	14,61
3	3	13,92

5.1.4. CIRCUITO D

Tabla 5.10: Características del Transformador D

MÉTODO DE MEDICIÓN	
TRANSFORMADOR	37 KVA
SICAP	1457
TIPO	Monofásico.
UBICACIÓN	Calles Gardenias y Orquídeas.
RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	24,8 Ω
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,673
RESISTIVIDAD DEL TERRENO	21,86 Ω m.
CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO	Contiene cascajo, cubierto de concreto.
OBSERVACIONES	Interferencia 7mA.

Tabla 5.11: Mediciones de resistencia de terreno del Transformador D

Nro.	ESTRATO	RESISTENCIA (Ω)
1	1,8m	23,68
2	1,8m	22,97
3	1,8m	22,85
4	1,8m	23,17
5	1,8m	24,01

Tabla 5.12: Mediciones de resistividad del terreno del Transformador D

Nro.	DISTANCIA ENTRE PICAS (m)	RESISTIVIDAD (Ω m)
1	1	21,36
2	2	20,25
3	3	21,86

5.1.5. CIRCUITO E

Tabla 5.13: *Características del Transformador E*

MÉTODO DE MEDICIÓN	
TRANSFORMADOR	25 KVA
SICAP	10527
TIPO	Monofásico.
UBICACIÓN	Calles Crisantemos entre Amapolas y Claveles.
RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	25 Ω
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,673
RESISTIVIDAD DEL TERRENO	14,83 Ω m.
CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO	Contiene cascajo, cubierto de concreto.
OBSERVACIONES	Interferencia 7mA.

Tabla 5.14: *Mediciones de resistencia de terreno del Transformador E*

Nro.	ESTRATO	RESISTENCIA (Ω)
1	1,8m	24,19
2	1,8m	23,24
3	1,8m	23,75
4	1,8m	23,81
5	1,8m	22,86

Tabla 5.15: *Mediciones de resistividad del terreno del Transformador E*

Nro.	DISTANCIA ENTRE PICAS (m)	RESISTIVIDAD (Ω m)
1	1	15,87
2	2	14,65
3	3	14,83

5.1.6. CIRCUITO F

Tabla 5.16: *Características del Transformador F*

MÉTODO DE MEDICIÓN	
TRANSFORMADOR	25 KVA
SICAP	1459
TIPO	Monofásico.
UBICACIÓN	Calles Crisantemos y Lirios.
RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	18,28 Ω
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,673
RESISTIVIDAD DEL TERRENO	18,97 Ω m.
CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO	Contiene cascajo, cubierto de concreto.
OBSERVACIONES	Interferencia 7mA.

Tabla 5.17: *Mediciones de resistencia de terreno del Transformador F*

Nro.	ESTRATO	RESISTENCIA (Ω)
1	1,8m	17,65
2	1,8m	16,37
3	1,8m	17,13
4	1,8m	16,89
5	1,8m	16,74

Tabla 5.18: *Mediciones de resistividad del terreno del Transformador F*

Nro.	DISTANCIA ENTRE PICAS (m)	RESISTIVIDAD (Ω m)
1	1	18,83
2	2	19,62
3	3	18,97

5.1.7. CIRCUITO G

Tabla 5.19: Características del Transformador G

MÉTODO DE MEDICIÓN	
TRANSFORMADOR	15 KVA
SICAP	1333
TIPO	Monofásico.
UBICACIÓN	Calles Crisantemos y Rosas.
RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	23,5 Ω
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,673
RESISTIVIDAD DEL TERRENO	12,98 Ω m.
CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO	Contiene cascajo, cubierto de concreto.
OBSERVACIONES	Interferencia 7mA.

Tabla 5.20: Mediciones de resistencia de terreno del Transformador G

Nro.	ESTRATO	RESISTENCIA (Ω)
1	1,8m	21,67
2	1,8m	22,13
3	1,8m	22,46
4	1,8m	21,86
5	1,8m	22,57

Tabla 5.21: Mediciones de resistividad del terreno del Transformador G

Nro.	DISTANCIA ENTRE PICAS (m)	RESISTIVIDAD (Ω m)
1	1	12,57
2	2	13,21
3	3	12,98

5.1.8. CIRCUITO H

Tabla 5.22: *Características del Transformador H*

MÉTODO DE MEDICIÓN	
TRANSFORMADOR	25 KVA
SICAP	1450
TIPO	Monofásico.
UBICACIÓN	Calles 18 de Noviembre y Lirios.
RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	19,8 Ω
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,673
RESISTIVIDAD DEL TERRENO	23,42 Ω m.
CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO	Contiene cascajo, cubierto de concreto.
OBSERVACIONES	Interferencia 4mA.

Tabla 5.23: *Mediciones de resistencia de terreno del Transformador H*

Nro.	ESTRATO	RESISTENCIA (Ω)
1	1,8m	17,56
2	1,8m	18,13
3	1,8m	18,39
4	1,8m	17,49
5	1,8m	18,73

Tabla 5.24: *Mediciones de resistividad del terreno del Transformador H*

Nro.	DISTANCIA ENTRE PICAS (m)	RESISTIVIDAD (Ω m)
1	1	23,85
2	2	22,91
3	3	23,42

5.1.9. CIRCUITO I

Tabla 5.25: Características del Transformador I

MÉTODO DE MEDICIÓN	
TRANSFORMADOR	15 KVA
SICAP	1452
TIPO	Monofásico.
UBICACIÓN	Calles 18 de Noviembre entre Claveles y Gardenias.
RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	22,4 Ω
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,673
RESISTIVIDAD DEL TERRENO	25,68 Ω m.
CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO	Contiene cascajo, cubierto de concreto.
OBSERVACIONES	Interferencia 7mA.

Tabla 5.26: Mediciones de resistencia de terreno del Transformador I

Nro.	ESTRATO	RESISTENCIA (Ω)
1	1,8m	21,97
2	1,8m	21,37
3	1,8m	20,84
4	1,8m	20,77
5	1,8m	21,68

Tabla 5.27: Mediciones de resistividad del terreno del Transformador I

Nro.	DISTANCIA ENTRE PICAS (m)	RESISTIVIDAD (Ω m)
1	1	26,87
2	2	26,24
3	3	25,68

5.1.10. CIRCUITO J

BANCO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

Tabla 5.28: Características del Transformador J

MÉTODO DE MEDICIÓN	
TRANSFORMADOR	3x10 KVA
SICAP	10010/10011/10012
TIPO	Conexión en triángulo.
UBICACIÓN	Calles 18 de Noviembre y Claveles.
RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	9,8 Ω
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,673
RESISTIVIDAD DEL TERRENO	4,19 Ω m.
CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO	Contiene Lastre cubierto de césped.
OBSERVACIONES	Interferencia 4mA.

Tabla 5.29: Mediciones de resistencia de terreno del Transformador J

Nro.	ESTRATO	RESISTENCIA (Ω)
1	1,8m	15,24
2	1,8m	11,82
3	1,8m	13,26
4	1,8m	16,10

Tabla 5.30: Mediciones de resistividad del terreno del Transformador J

Nro.	DISTANCIA ENTRE PICAS (m)	RESISTIVIDAD (Ω m)
1	1	4,36
2	2	3,84
3	3	4,19

MEDIA ARITMÉTICA: 14.105 Ω



Figura 5.3. Banco de transformadores trifásicos

CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO:

Resistencia = 11.90 Ohmios

Tipo de Puesta a Tierra: TRANSFORMADORES

Potencia = 10KVA

Voltaje en Secundario: 220V

Tipo: Monofásico; **Impedancia** = 2.30 %

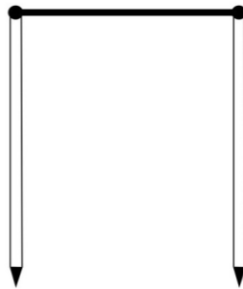
TIPO DE PUESTA A TIERRA: EQUIPOS ELECTRÓNICOS

Capacidad del dispositivo de protección (A): 40

Calibre del conductor de alimentación: 2 AWG

CÁLCULOS DE PUESTA A TIERRA

Número de electrodos: 2



$$L = 1.80 \text{ m}$$

$$\varnothing = 0.0153 \text{ m}$$

$$r = 0.00765 \text{ m}$$

$$\rho = 95.26 \text{ } \Omega \text{ m.}$$

$$D = 4.00 \text{ m}$$

$$R = 26.42 \text{ Ohmios}$$

RESULTADOS DEL SISTEMA

Número de electrodos: 2

Resistencia de puesta a tierra: 26.42 Ohmios

Calibre del conductor de puesta a tierra del circuito: 10 AWG

Calibre del conductor del electrodo de tierra: 8 AWG.

VI. CONCLUSIONES

6.1. CONCLUSIONES.

- ✓ Una puesta a tierra en una red eléctrica, es necesaria para mantener la seguridad de las personas que trabajen o estén en contacto con las instalaciones, así como mantener en condiciones óptimas de operación los distintos equipos de la red eléctrica.
- ✓ Un sistema de puesta a tierra, establece la permanencia, de un potencial de referencia, al estabilizar la tensión eléctrica a tierra, bajo condiciones normales de operación.
- ✓ Importante es, determinar la resistividad de un terreno, puesto que a partir de ello se puede determinar, en donde se puede construir un sistema de puesta a tierra.
- ✓ Importante es, tener en cuenta que la resistencia de puesta a tierra se mide en ohmios (Ω); y, la resistividad del terreno se mide en ohmio por metro (Ωm).
- ✓ Es indispensable desconectar las conexiones a tierra de la instalación existente, antes de realizar una medición de puesta a tierra.
- ✓ Si una conexión a tierra no puede ser desconectada, es necesario realizar una puesta tierra a auxiliar para poder liberar la puesta tierra a analizar.
- ✓ La pinza telurímetro es sin duda, una óptima solución para medir el aterramiento en locales en donde resulta imposible clavar las picas auxiliares de referencia.

- ✓ Las mediciones realizadas con pinza amperimétrica, deben ser tomadas con cuidado, porque a través de este método se mide todo el sistema de aterramiento, y no solo un punto en particular. Es lo que llamamos análisis de sistemas multi-aterrados.
- ✓ Las mediciones se deben repetir alejándose y acercándose 1 metro, respecto al punto de referencia tomado inicialmente; para que los datos sean lo más acertados y si son idénticos o con un margen de $\pm 3\%$ respecto del inicial, la medición se dará por correcta.
- ✓ Si las circunstancias al efectuar las mediciones de las tomas de tierra no permiten introducir en el terreno las sondas de tensión y de intensidad; debido a que son emplazamientos urbanos, zonas con hormigón, rocas compactas sin tierra superficial, se procede a envolver las sondas en bayetas húmedas y colocarlas sobre el terreno procurando que el contacto sea lo más amplio y homogéneo posible, regándolas abundantemente con agua.

VII. RECOMENDACIONES

7.1. RECOMENDACIONES.

- ✓ Es necesario dar tratamiento adecuado al terreno en que se encuentran instaladas las puestas a tierra de los alimentadores de la ciudadela *Los Geranios*, puesto que las mediciones de resistencia realizadas se encuentran fuera del rango permitido en las Normas Técnicas para el Diseño de Redes Eléctricas Urbanas y Rurales de la EERSSA.
- ✓ Por motivos ajenos a la EERSSA, en ciertos finales de circuitos de la ciudadela *Los Geranios* no existen puestas a tierra, por lo que es indispensable diseñar e instalar un sistema de puesta a tierra, con la finalidad de brindar seguridad y estabilidad al sistema.
- ✓ La persona que efectúa las mediciones debe ser un instalador eléctrico autorizado o personal técnicamente competente.
- ✓ Se debe tener pleno conocimiento de las normas básicas de seguridad en el ámbito de este procedimiento y estar perfectamente familiarizado con el manejo del telurómetro con el que se efectuarán las mediciones.
- ✓ Previo a cualquier medición, es necesario haber leído y entendido este procedimiento o haber solicitado la oportuna formación adicional al respecto.
- ✓ Un telurómetro o medidor de tierra, dada la gran variedad de modelos existentes en el mercado no se especifica características técnicas de

manejo general, por lo que es necesario consultar las instrucciones de uso propias de cada instrumento.

- ✓ Para una correcta medición debemos colocar el testigo de tensión en un punto a potencial cero.
- ✓ Se deberá comprobar en todos los casos la ausencia de tensión en tierra previa a la respectiva medición.
- ✓ Si se observa presencia de tensión en tierra, es absolutamente necesario **NO MEDIR**, antes de haber reparado la avería.
- ✓ Tampoco se debe realizar **Ninguna Medición** en el caso de presentarse alguna tormenta o precipitación atmosférica.
- ✓ Es necesario situar las sondas de tensión y de corriente en línea recta, a partir del punto de puesta a tierra, colocando primero los de tensión y quedando más alejada la de corriente.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

8.1. BIBLIOGRAFÍA.

LIBROS

- [1]. Booton, Richard "Computational methods for electromagnetics and microwaves" Wiley series 1992.
- [2]. Casas Ospina, Favio.: "Tierras soporte de la seguridad eléctrica". Editorial: Seguridad eléctrica Ltda., Colombia, 2008.
- [3]. Conde, P. L., & Montaña, M. T. (2004). *DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO AMBIENTAL*. Loja.
- [4]. WENNER, F. A Method of Measuring Earth Resistivity. Scientific Paper of the Bureau of Standards No. 258. (1915) pp. 469.
- [5]. Zapatero, I. E. (2009). Normas técnicas para Instalaciones eléctricas. Colombia: Don Bosco.

TESIS CONSULTADAS.

- [6]. MANUAL DE TÉCNICAS EN MEDICIONES DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.- 2000- Tesis de grado. Universidad de la Salle, Santafé de Bogotá.

PAPERS DE INTERÉS

- [7]. A comparison of IEC479-1 and IEEE Std 80 on grounding safety criteria, C.H. LEE and A. P. SAKIS MELIOPOULOS.
- [8]. ANSI/IEEE Std. 80: 1986, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.

- [9]. IEEE Practice for Grounding of Industrial Power Systems, IEEE Green book, Std.141-1993.
- [10]. IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment, IEEE Std 1100-1999.
- [11]. IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems, Standard 42-1991
- [12]. IEEE Standards Interpretation for IEEE Std 80-1986. www.ieee.org Oct. 2002.
- [13]. Norma Iram 2281: Código de Práctica para Puesta a Tierra de Sistemas Eléctricos.
- [14]. Norma Iram 2309 y 23150: Materiales para Puesta a Tierra.
- [15]. Norma ANSI / IEEE Std. 142-1991: Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.

PÁGINAS WEB DE INTERÉS

- [16]. Instrumento de Aprendizaje en Sistemas de Conexión a Tierra.
Disponible en:
<http://www.cecalc.ula.ve/sct>
- [17]. Medición de Puestas a Tierra. Disponible en:
<http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/EE05704M.pdf>
- [18]. Muestreo de Puestas a Tierra. Disponible en:
<http://www.estadistica.mat.uson.mx/Material/elmuestreo.pdf>

- [19]. Aproximación a un Sistema de Puesta a Tierra, European Copper Institute, Disponible en:
<http://www.eurocopper.org>
- [20]. Evaluación de Sistemas de Puesta a Tierra. Disponible en:
<http://www.scribd.com/doc/16835086/Evaluacion-de-Sistemas-de-Puesta-a-Tierra-en-Sistemas-de-Distribucion>
- [21]. Medición de Puestas a Tierra. Disponible en:
<http://www.voltimum.es/catalog/fam/REE-/101/105/REE-ITC18/fam/Puesta-a-tierra ITC-BT-18.html>.

IX. ANEXOS

9.1. ANEXO A

PLANIMETRÍA DE LA CIUDADELA “LOS GERANIOS”

9.2. ANEXO B

PROYECTO