

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE PUESTAS A TIERRA
TRATADAS CON CEMENTO CONDUCTIVO PARA LA RED DE DATOS
EN VARIAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS DE LA REGIÓN PUNO”**

TESIS

PRESENTADO POR:

KEVIN RENZO FLORES FIGUEROA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA,
ELECTRONICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

“EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE PUESTAS A TIERRA TRATADAS CON CEMENTO CONDUCTIVO PARA LA RED DE DATOS EN VARIAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS DE LA REGIÓN PUNO”

TESIS PRESENTADA PÓR:
KEVIN RENZO FLORES FIGUEROA

PARA OPTAR EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA



APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

: 
M.SC. HENRY SHUTA LLOCLLA

PRIMER MIEMBRO

: 
ING. MARCOS JOSE VILLANUEVA CORNEJO

SEGUNDO MIEMBRO

: 
ING. OMAR LUIS NEIRA CUTIPA

DIRECTOR DE TESIS

: 
M.SC. JUAN RENZO ILLACUTIPA MAMANI

AREA: Electricidad, Sistemas De Protección Eléctrica

TEMA: Comportamiento de Sistemas de Protección a tierra

DEDICATORIA

Mi presente tesis va dedicado con todo mi amor y cariño a mis padres por su sacrificio y esfuerzo, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos muy difíciles siempre respondieron con comprensión y apoyo.

A una personita muy en especial Santiago Ángelo por ser fuente muy importante de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida me dé un futuro mejor.

A mis compañeros y amigos presentes, que sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas, en especial a uno de ellos que fue cómplice de nuestras locuras y vivencias en nuestra época universitaria.

AGRADECIMIENTOS

A Nuestro Señor Dios todo poderoso por guiarnos hacia un buen camino, a mis padres Dante y Sonia por el apoyo incondicional que me brindaron para estar ahora aquí en este lugar.

A la Universidad Nacional Del Altiplano, por acogerme dentro de sus establecimientos.

En especial agradecer a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por su esfuerzo y dedicación en la enseñanza para nuestra formación profesional y ciudadana.

ÍNDICE

RESUMEN	12
---------------	----

ABSTRACT	13
----------------	----

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN.....	14
-----------------------	----

1.2 OBJETIVOS	16
---------------------	----

1.2.1 OBJETIVO GENERAL	16
------------------------------	----

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
----------------------------------	----

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA	17
---------------------------------	----

2.1 PUESTA A TIERRA.	17
---------------------------	----

2.1.1 Puesta a tierra de los sistemas eléctricos.....	18
---	----

2.1.2 Razones para conectar a tierra circuitos y sistemas de alimentación... ..	19
---	----

2.1.3 Normativa de los sistemas de puesta a tierra	20
--	----

2.2 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA.	22
----------------------------------	----

2.2.1 Elementos conductores.	23
-----------------------------------	----

2.2.2 Elementos aislantes.....	24
--------------------------------	----

2.2.3 Elementos semiconductores.....	24
--------------------------------------	----

2.2.4 Resistividad y resistencia del suelo	25
--	----

2.2.5 Naturaleza del terreno	26
------------------------------------	----

2.2.6 Humedad	27
---------------------	----

2.2.7 Temperatura	28
-------------------------	----

2.2.8 Estratigrafía.....	29
--------------------------	----

2.2.9 Salinidad	30
-----------------------	----

2.2.10 Variaciones estacionales	31
---------------------------------------	----

2.2.11	Compactación del terreno	31
2.2.12	Importancia en la medición de la resistividad.....	31
2.3	MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD Y LA RESISTENCIA.....	32
2.3.1	Factores a considerar al realizar mediciones del suelo	32
2.3.2	Instrumento de medición.....	32
2.3.3	Medición de la resistividad del suelo.....	33
2.3.4	Métodos de medición de resistividad	34
2.3.5	Medida de la resistividad del terreno	34
2.3.6	Método de Wenner	36
2.3.7	Método de Schlumberger-Palmer	37
2.4	MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	39
2.4.1	Fundamento Básico de la Medida Convencional	40
2.4.2	Aplicación del Principio de Caída de Potencial	41
2.4.3	El Circuito de Corriente de Medida	42
2.4.4	Esquema de los Circuitos de Corriente y Potencial de Medida.....	43
2.4.5	Disposición de los Puntos de Medida	44
2.4.5.1	Medidas en Línea Recta con Reubicación de (P).....	44
2.4.5.2	Medidas con el Electrodo de Potencial en (P_1).....	45
2.4.5.3	Medidas con el electrodo de Potencial en (P_2)	45
2.4.5.4	Medidas con los Circuitos Formando un Angulo	45
2.4.5.5	Angulo Máximo (α) Entre Circuitos.	46
2.4.6	Longitud de Circuitos de Medida.....	47
2.4.7	Cálculo del Error (R_e) de Medidas en Angulo	47
2.4.8	Efecto de acoplamiento mutuo entre conductores	49
2.4.9	Medidas Aproximadas de Resistencia de Puesta a Tierra.....	50

2.4.9.1	Método de 2 Puntos.....	50
2.4.9.2	Circuito de Medida de la Resistencia.....	50
2.4.9.3	Consistencia del Método	51
2.4.9.4	Método Estandarizado del 62%.....	51
2.4.9.5	Los Circuitos de Medida	51
2.4.9.6	La Relación Funcional Para Error Cero	51
2.4.10	Participación de Suelos Estratificados	52
2.4.11	Medida con los Circuitos en Línea Recta.....	52
2.4.11.1	Medida de Resistencia de Puesta a Tierra – Disposición Clásica	53
2.4.11.2	Medida de la Resistencia de Puesta a Tierra- Disposición Alternativa	55
2.4.12	Medida con los Circuitos Formando un Ángulo.....	56
2.4.12.1	Primer Caso con Relación $(h_1/d)=0,1$	56
2.4.12.2	Segundo Caso con Relación $(h_1/d)=0,2$	57
2.4.12.3	Apreciación de las Medidas Formando Angulo	58
2.4.13	Medidas Precisas de Resistencia de Puesta a Tierra.....	58
2.4.13.1	Método Progresivo Punto por Punto.....	58
2.4.13.2	Método Estandarizado de Un Solo Punto (x/d)	60
2.4.14	Criterio Respecto a la Extensión de la Puesta a Tierra.....	62
2.4.15	Principio de las Medidas	62
2.5	LA INFLUENCIA DE LA ELECTRICIDAD EN EL CUERPO HUMANO....	63
2.5.1	La electropatología	63
2.5.2	Los efectos de la corriente eléctrica en el ser humano	64
2.5.3	Factores que inciden en la gravedad de una descarga eléctrica	65
2.5.4	Intensidad de la corriente.....	65
2.5.5	Resistencia eléctrica del cuerpo humano	66

2.6	HIPÓTESIS	68
2.6.1	Hipótesis General	68
2.6.2	Hipótesis Específicas	68
2.7	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	68
2.7.1	TIPO METODOLÓGICO	68
2.7.2	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	69
2.7.3	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	69
2.7.4	TÉCNICAS.....	69

CAPITULO III

3.	MATERIALES Y MÉTODOS	71
3.1	MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	71
3.1.1.	Tipo de investigación	71
3.1.2.	Técnicas de recolección de datos.....	72
3.1.3.	Técnicas de análisis de datos.....	73
3.1.4.	Método de la investigación.	74
3.1.5.	Unidades de información	74
3.1.6.	Diagnóstico del comportamiento de los pozos a tierra	74
3.1.7.	Aplicación del Principio de Caída de Potencial	75
3.1.8.	El Circuito de Corriente de Medida	76
3.1.9.	Efectividad del tratamiento con cemento conductor	78
3.1.10.	Cumplimiento de la normativa vigente del SPT	80
3.1.1.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	82
3.1.2.	Recolección de Información Para la Investigación	82
3.1.3.	Procesamiento de Datos	83
3.1.4.	Variables.....	83

CAPITULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	84
4.1	Diagnóstico Del Comportamiento De Los Pozos A Tierra.	84
4.2	DIAGNÓSTICO DE LOS POZOS A TIERRA	84
4.3	EFECTIVIDAD DEL TRATAMIENTO	88
4.4	CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA VIGENTE	90
	CONCLUSIONES.....	95
	RECOMENDACIONES	97
	BIBLIOGRAFÍA	98
	ANEXOS	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Imagen del átomo de un material conductor.	24
Fig. 2: Conductores, semiconductores y aislantes.	25
Fig. 3: Estratigrafía del terreno	29
Fig. 4: Telurometro TESTECH	33
Fig. 5: Medida de la resistividad del terreno	35
Fig. 6: Arreglo de electrodos método Wenner	36
Fig. 7: Método de Schlumberger-Palmer	39
Fig. 8: Medida de resistencia de tierra	41
Fig. 9: Representación del Electrodo de Puesta a Tierra (E)	42
Fig. 10: Potencial inducido en un electrodo (E)	43
Fig. 11: Esquema de los circuitos	43
Fig. 12: Medidas Sobre una Línea Recta con Reubicación de (P)	44
Fig. 13: Esquema de Circuitos de Corriente y Potencial formando Angulo	46
Fig. 14: Disposición de Electrodos Para Medidas en Angulo	46
Fig. 15: Tendencia del Error en medidas	48
Fig. 16: Error en medidas de PAT en ángulo, en función a valores de $(a)<1$	49
Fig. 17: Medida de Resistencia de Puesta a Tierra – Método de 2 Puntos	50
Fig. 18: Potencial inducido en un electrodo (E)	53
Fig. 19 Disposición Clásica de Medidas de RT	54
Fig. 20: Familia de Correlación de Distancias de Medida Clásica de RT	54
Fig. 21: Familia de Correlación de Distancias de Medida Alternativa de RT	56
Fig. 22: Primer Caso de Lugares Geométricos (pu).	57
Fig. 23: Segundo Caso de Lugares Geométricos (pu).	57
Fig. 24: Esquema de Medida de RT, Método de un sólo Punto	61

Fig. 25: Circuito de medida de resistencia	76
Fig. 26: Circuito de corriente de medida	76
Fig. 27: Teluometro TESTECH KT 480D	77
Fig. 28: Esquema de tratamiento con cemento conductivo	78

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1 Resistividad según la naturaleza del terreno	27
Cuadro 2 Efecto de la humedad en la resistividad del terreno	28
Cuadro 3 Efecto de la temperatura en la resistividad del terreno	29
Cuadro 4 Efecto de la sal en la resistividad del terreno	30
Cuadro 5 Efectos fisiológicos directos de la electricidad	66
Cuadro 6 Formato de mediciones	77
Cuadro 7 Formato de mediciones inicial y con tratamiento	80
Cuadro 8 Valores Solicitados	82
Cuadro 9 Técnicas e Instrumentos	82
Cuadro 10 Valores iniciales	85
Cuadro 11 Valores finales después del tratamiento	87
Cuadro 12 Efectividad del cemento conductor	89
Cuadro 13 Comparación de valores cumplimiento de las Normas	92

ÍNDICE DE GRAFICOS

Grafico 1: Diagrama de Pareto valores iniciales	86
Grafico 2: Diagrama de Pareto valores con tratamiento	88
Grafico 3: Diagrama de Efectividad del tratamiento	90
Grafico 4: Comparación de valores Normalizados	92
Grafico 5: Valores Específicos del Cemento Conductivo	94

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. 1: Características del cemento conductor GEM25A	101
Anexo A. 2: Especificaciones del cemento conductor.	102
Anexo A. 3: Instalación con electrodo vertical con GEM25A	103
Anexo B: resistencia máxima para spat: (tdr) ministerio de educación. Pág. 39/50	104
Anexo C: Especificaciones y detalles de Puesta a Tierra	105

ACRÓNIMOS

η	Cantidad de electrones
cm	Centímetro
α	Coefficiente térmico
π	Constante (Pi)
C	Columbio
J	Densidad de corriente
E	Diferencia de potencial
$d\lambda$	Diferencial de distancia
λ	Distancia
φ	Flujo eléctrico
°C	Grado centígrado
Z	Impedancia
I	Intensidad de corriente
J	<i>Joule</i>
m	Metro
μ	Micro
Ω	Ohm
R	Resistencia eléctrica
ρ	Resistividad eléctrica

RESUMEN

El presente proyecto de tesis tiene como objetivo principal evaluar el comportamiento de las puestas a tierra que fueron tratadas con cemento conductor para la red de datos de las Instituciones Educativas de La Región Puno para de esta manera conocer la efectividad de este tipo de tratamiento y la importancia que tiene en el aspecto de seguridad; como objetivos específicos que se plantean en el presente proyecto de tesis se realizara el Diagnostico del comportamiento de los pozos a tierra que fueron tratados con cemento conductor de las redes de datos de las instituciones educativas. Analizar la efectividad del tratamiento con cemento conductor de los pozos a tierra y Verificar que el sistema de puesta a tierra tratado con cemento conductor, cumpla con la seguridad de protección tanto del personal técnico como de los equipos electrónicos y este de acuerdo a la normativa vigente. El proyecto de investigación se organizó de la siguiente manera: en primer lugar se realizó una investigación exhaustiva de la bibliografía relacionada con los sistemas de puestas a tierra. Se realizó la medición de la resistencia de los pozos a tierra que fueron tratados con cemento conductor por el método de la caída de potencial, para de esta manera poder cumplir con los objetivos planteados mencionados anteriormente, se analizó estadísticamente los resultados obtenidos de esta manera poder realizar la comparación. Los equipos de la red de datos de instituciones educativas se encuentran en el Departamento de Puno Provincias de Azángaro, Huancané, Melgar, Sandía y San Antonio de Putina, son instituciones educativas en donde el estado viene implementando la red de datos, ubicados en el cuadrante L19 de las coordenadas UTM.

Palabras clave: puesta a tierra; cemento conductor; resistencia, efectividad.

ABSTRACT

The present thesis project aims to evaluate the behavior of the grounding that were treated with conductive cement to the data of the educational institutions of the Puno Region network for in this way the effectiveness of this type of treatment and the importance that has in the aspect of security; specific objectives arising in the present thesis project will be diagnostic of the behavior of the ground wells that were treated with conductive cement of educational institutions data networks. Examine the effectiveness of treatment with conductive cement of wells to ground and verify that conductive cement-treated ground system, complies with the security protection both technical staff and electronic equipment and this according to the regulations in force. The research project was organized in the following manner: first was carried out a thorough investigation of literature pertaining to systems implementations to Earth. He was the measurement of resistance of the wells land treated with conductive cement by the potential drop method, in order thus to meet the objectives mentioned above, statistically analyzed the results to carry out comparison of the behavior in this way. The database of educational institutions are located in the Department of Puno provinces of Azángaro, Huancane, Melgar, watermelon and San Antonio de Putina, which are educational institutions where the State has been implementing the data network, located in the quadrant L19 of UTM coordinates.

Key words: ground; conductive cement; resistance, effectiveness.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en las instituciones educativas se encuentran ubicadas en el Departamento de Puno en las Provincias de Azángaro, Huancané, Melgar, Sandía y San Antonio de Putina, que son instituciones educativas en donde el estado viene implementando la red de datos trata de la “Evaluación del comportamiento de las puestas a tierra tratados con cemento conductor para la Red de Datos de las Instituciones Educativas de La Región Puno”, enfocado a evaluar la efectividad del tratamiento de los sistemas de puesta a tierra (SPAT) para verificar su confiabilidad del funcionamiento y la operación.

El estudio planteado, ha sido elegido por la relevancia e importancia que representa para la población y el conocimiento que puede aportar el presente proyecto de investigación así mismo parte de este análisis es realizar el diagnóstico y el levantamiento de información de la condición actual y la medida de la resistencia de los pozos a tierra que han sido tratados con cemento conductor con la finalidad de mejorar su resistencia.

Los SPAT de las instalaciones y equipos eléctricos es un tema que afecta a varias de las diferentes disciplinas implicadas en la construcción y en el equipamiento eléctrico en especial cuando se trata de la protección de las personas o la protección de los equipos informáticos o equipos industriales.

En este estudio se presenta una evaluación de la efectividad de los sistemas de puesta a tierra que va a servir de guía básica para la realización de las puestas a tierra tratadas con cemento conductor. En general cualquier sistema

de puestas a tierra debe cumplir con lo siguiente:

Seguridad: el sistema de puesta a tierra debe conducir las corrientes de cortocircuito a tierra sin que se produzca una subida de tensión intolerable o tensiones de contacto que puedan causar daños a las personas o el equipamiento.

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 producción 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 tres aspectos a menudo se especifican por separado, su aplicación exige una solución integrada para todo el sistema. (AGUILAR, 2010).

OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la “Evaluación del comportamiento de las puestas a tierra tratados con cemento conductor para la Red de Datos de las Instituciones Educativas de La Región Puno”.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Diagnosticar el comportamiento de los pozos a tierra que fueron tratados con cemento conductor de las redes de datos de las instituciones educativas mediante un análisis estadístico.
- b) Analizar la efectividad del tratamiento con cemento conductor de los pozos a tierra.
- c) Verificar que el sistema de puesta a tierra tratado con cemento conductor, cumpla con la seguridad de protección tanto del personal técnico como de los equipos electrónicos y este de acuerdo a la normativa vigente.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

En el presente capítulo se desarrolla la revisión bibliográfica para dar a conocer los conceptos básicos de las puestas a tierra para sistemas eléctricos y de protección. A continuación, se describen los puntos principales para su desarrollo.

2.1 PUESTA A TIERRA.

Por puesta a tierra se entiende como la conexión de un conductor eléctrico (electrodo) enterrado en el suelo con la finalidad de dispersar corrientes eléctricas y captar el potencial de referencia cero.

Las puestas a tierra, se fabricaban en las plantas industriales, para la protección de las personas y de las maquinarias. Estas puestas a tierra se fabricaban artesanalmente con un tubo galvanizado, sal y carbón vegetal.

Estas puestas a tierra se mantenían húmedos y solo servirían ante una eventual descarga del equipo eléctrico por bajo nivel de aislamiento.

Ante la evolución de la Electrónica con los microprocesadores, computadoras, variadores, PLC, es mucho más necesario que los componentes electrónicos en las tarjetas estén conectadas a tierra y así puedan descargar permanentemente corrientes residuales a una puesta a tierra de baja resistencia, es por eso que se hace imprescindible que las puestas a tierra sean de una buena calidad, es decir de 3 a 5 ohmios de resistencia máxima o lo que especifique el fabricante del equipo. (CANCHA, 2005).

2.1.1 Puesta a tierra de los sistemas eléctricos.

El propósito de aterrizar los sistemas eléctricos es limitar cualquier corriente elevada que pueda resultar de descargas atmosféricas, fenómenos de inducción o de contactos no intencionales con cables de alto voltajes.

Este propósito se logra uniendo físicamente un conductor eléctrico apropiado a la tierra, suelo o terreno, de manera que se cree un camino seguro por donde se descarguen estas corrientes de falla del sistema, precautelando la integridad de las personas y equipos eléctricos. (CANCHA, 2005)

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 debe existir un modelamiento de sistemas de puesta a tierra, motivo por el cual esto ha incrementado el interés, comprensión y aplicación del tema propiamente dicho, teniendo en cuenta al mismo tiempo que la actividad del diseño ha llegado a ser muy significativo debido a que las nuevas 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 una necesidad de que estos conocimientos sean traspasados a los diseñadores e instaladores, de tal modo que pueda lograrse una mayor comprensión del tema en estudio.

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. (AGUILAR, 2010).

2.1.2 Razones para conectar a tierra circuitos y sistemas de alimentación.

De todas las razones existentes las primordiales son las siguientes:

- Protección a personas.
- Protección del equipo.

El propósito de mantener los equipos y carcazas metálicas de un sistema eléctrico a un mismo plano equipotencial, no es un hecho simple, el conductor conectado a tierra (de un sistema aterrizado) establece una trayectoria de baja impedancia para la corriente de falla y de esta manera permite el funcionamiento o la activación de un interruptor automático de seguridad o de un interruptor de circuito, para despejar la falla. Las razones por las cuales se deben conectar a tierra materiales conductores que albergan conductores eléctricos o equipos, son:

Limitar el voltaje ocasionado por descargas atmosféricas, sobrevoltajes transitorios y contactos accidentales con alto voltaje.

Facilitar la protección de los dispositivos de protección contra sobrecargas y los interruptores del circuito.

Estabilizar el voltaje durante operaciones normales.

Como se menciona, la importancia de realizar una conexión a tierra es principalmente la seguridad, debido a que una corriente no deseada o sobre voltaje podría causar accidentes, pérdida total de equipos o reparaciones costosas.

Otra razón por la que debe instalarse un sistema de puesta a tierra eficiente en edificaciones o instalaciones industriales, es para evitar que descargas atmosféricas caigan en sitios peligrosos que puedan ocasionar accidentes o dañar los equipos, esto se logra mediante la instalación de un sistema de pararrayos. (ZABALA, 2013).

2.1.3 Normativa de los sistemas de puesta a tierra

Las normas proporcionan orientación e información pertinente a las prácticas de diseño seguro de puesta a tierra y establecen los límites de diseño que deben satisfacerse para seguridad de las personas y las instalaciones.

Dentro del análisis de los sistemas de puesta a tierra existen diferentes normas a nivel mundial. Una de las normas más utilizadas en el diseño es la norma IEEE Std. 80-2000 "Guide for Safety in AC Substation Grounding" y en el Perú tenemos el Código nacional de electricidad (suministro 2011) sección 3: métodos de puesta a tierra para instalaciones de suministro eléctrico y

comunicaciones. Que nos da los lineamientos para el diseño de las puestas a tierra.

2.1.4 Norma IEEE Std. 80-2000, Guide for Safety in AC Substation Grounding³

La norma IEEE generalmente es una guía detallada sobre aspectos técnicos más importantes para el aterrizaje en Subestaciones y Sistemas Eléctricos, e incluyen formulaciones necesarias para realizar los cálculos en lo referente al sistema de puesta a tierra.

El propósito de ésta norma es dar delineamientos e información pertinente para sistemas de tierra seguros en el diseño de subestaciones de A.C. Los principales propósitos específicos de la norma son:

- a. Establecer, como base para el diseño, los límites seguros de las diferencias de potencial que puedan existir en una subestación en condiciones de falla, entre los puntos que pueden entrar en contacto con el ser humano.
- b. Revisar las prácticas de aterrizaje de subestaciones y sistemas eléctricos con referencia especial a la seguridad y desarrollar criterios para el diseño seguro.
- c. Dar un procedimiento para el diseño de sistemas prácticos de aterrizaje basados en esos criterios.
- d. Desarrollar métodos analíticos como ayuda para el entendimiento y solución de los problemas típicos de gradientes.

2.2 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA.

Por definición general la resistividad determina la capacidad física que tienen los elementos o materiales para oponerse al paso de la corriente eléctrica, este es un valor que se mantiene constante, depende de la naturaleza del elemento y únicamente sufrirá cambios al variar su temperatura.

Debido a esto la resistividad es propiedad de los materiales que se clasifican en conductores, semiconductores o aislantes; de esta manera si un elemento es considerado “conductor ideal” tendrá una resistividad nula o igual a cero, y un “aislante ideal”, una resistividad que va hacia el infinito. Es muy importante recalcar que la resistividad es proporcionalmente inversa a la conductividad eléctrica, la cual constituye otra propiedad de la materia.

Los valores de resistividad más bajos son propios de los metales y sus aleaciones, que son buenos conductores, mientras que las resistividades de los aisladores superan a los mencionados en un factor de 10.

Por medio de los aislantes es posible poner límites al flujo de corriente eléctrica así como crear caminos bien definidos utilizando buenos conductores eléctricos, mientras que no es posible controlar el calor generado a un grado comparable. Por otro lado, es claro que el grupo de los metales son mejores conductores térmicos; su resistividad así como su conductividad tanto térmica como eléctrica es producto de los electrones libres que; molecularmente hablando, poseen en su última órbita. Contrario a los semiconductores, que forman un grupo que está entre los metales y los aislantes, cuya principal importancia se debe al modo en que estos se ven afectados por los cambios de temperatura y por pequeñas cantidades de impurezas. (ZABALA, 2013).

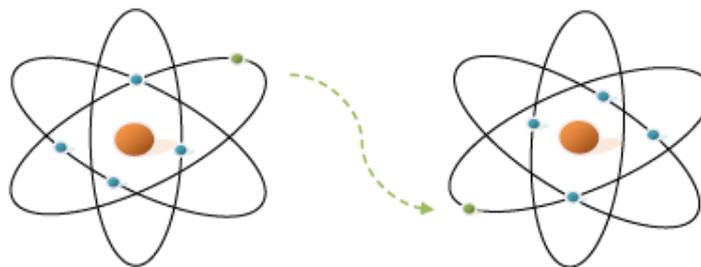
2.2.1 Elementos conductores.

Desde el punto de vista del átomo se consideran mejores conductores los materiales que poseen electrones libres en su última órbita. A estos electrones se les conoce como electrones de valencia y son los que posibilitan el flujo de corriente eléctrica.

Los metales que son buenos conductores poseen un gran número de electrones libres en su última órbita y son capaces de moverse con soltura, particularmente la plata, el cobre, el oro y el aluminio son excelentes conductores de la electricidad. El cobre es el metal más utilizado, ya que aparte de ser excelente conductor, no es muy costoso y se transforma fácilmente en alambre o en finas capas, haciéndolo accesible para una gran diversidad de usos, desde el cableado eléctrico domiciliario hasta equipo eléctrico muy sofisticado.

El aluminio aunque solo tiene un 60% de la capacidad de conducción del cobre, también se usa, sobre todo en aplicaciones en las que el peso ligero es importante como en líneas de transmisión elevadas. La plata y el oro son demasiado costosos para su uso general; sin embargo, el oro, debido a que se oxida menos que otros materiales, se emplea en dispositivos especializados, por ejemplo; en conectores eléctricos críticos en equipo electrónico, ya que hace una conexión más confiable que otros materiales.

Fig. 1: Imagen del átomo de un material conductor.



Fuente: (CANCHA, 2005).

2.2.2 Elementos aislantes.

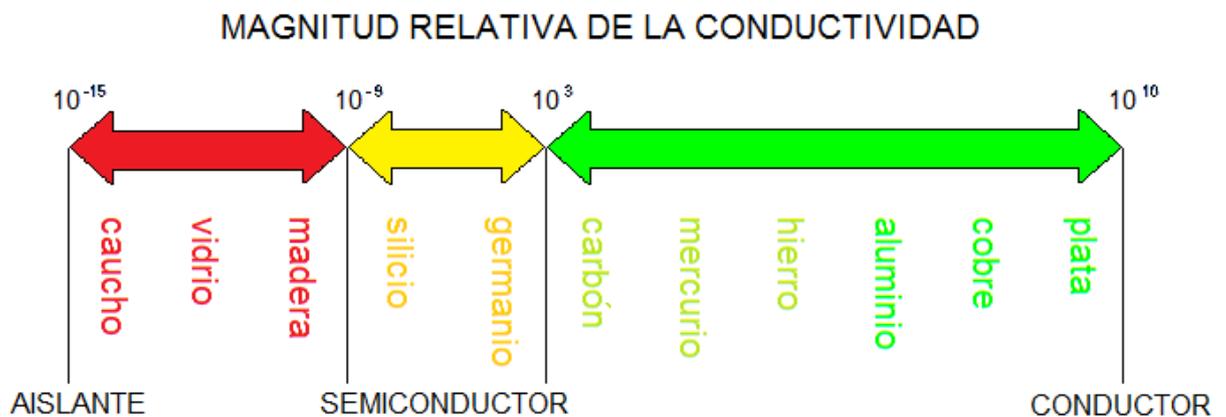
Los materiales que no conducen electricidad, como el vidrio, porcelana, plástico, hule, y otros, son llamados aislantes. El recubrimiento de los cables es un aislante que se utiliza para evitar que estos produzcan choques eléctricos, los aislantes no conducen porque su capa de valencia (o capa más externa) está llena, y por lo tanto sus electrones se encuentran estrechamente ligados (no posee electrones libres); sin embargo, cuando se aplica un voltaje suficientemente elevado, la fuerza es tan grande que los electrones son arrancados de sus átomos, causando que el aislante se rompa y que haya conducción. En el aire se puede ver este fenómeno como un arco o chispazo y en los sólidos es usual que el aislante resulte quemado.

2.2.3 Elementos semiconductores.

Los elementos semiconductores poseen propiedades eléctricas únicas, estos pueden comportarse como conductores o aislantes dependiendo de la temperatura a la que están sometidos y de ciertas impurezas atómicas que se pueden agregar en concentraciones variables a su composición. El silicio y el germanio (además de otros pocos materiales) tienen capas de valencia medio

llenas y por lo tanto no son ni buenos conductores ni buenos aislantes lo que los hacen atractivos e importantes para la industria electrónica. El material más importante es el silicio, que se utiliza para fabricar transistores, diodos, circuitos integrados y otros dispositivos electrónicos. Los semiconductores han hecho posible las computadoras personales, los sistemas de DVD, los teléfonos celulares, las calculadoras y otros aparatos electrónicos. (CANCHA, 2005)

Fig. 2: Conductores, semiconductores y aislantes.



Fuente: (CANCHA, 2005).

2.2.4 Resistividad y resistencia del suelo

Los parámetros de resistividad y resistencia, tienen significados diferentes. La resistividad eléctrica ρ del suelo describe la dificultad que encuentra la corriente a su paso por él. De igual manera se puede definir la conductividad ó como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica para atravesarlo. La resistencia eléctrica viene determinada por la resistividad del suelo y su geometría. Al considerar el suelo como un conductor rectilíneo y homogéneo de sección S y longitud L , su resistencia eléctrica y resistividad. (CANCHA, 2005)

La resistencia eléctrica (R) que muestra un conductor homogéneo se determina por la resistividad del material que lo constituye y la geometría del mismo. Para

un conductor rectilíneo y homogéneo de sección “s” y longitud “l”, la resistencia eléctrica es:

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad \dots(\text{Ec.1})$$

Partiendo de la ecuación 1 podemos despejar la resistividad quedando como nueva ecuación:

$$\rho = \frac{Rl}{s} \quad \dots(\text{Ec.2})$$

La unidad de resistividad según el sistema internacional es el ohmio por metro ($\Omega \cdot m$), de igual forma se puede definir a la conductividad (σ) como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica al atravesar un elemento, que expresado numéricamente es el inverso de la resistividad; se expresa en siemens metro ($s \cdot m$).

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad \dots(\text{Ec.3})$$

La resistividad es de las magnitudes físicas con mayor variación según el tipo de material y desde luego para los suelos. Su valor depende de varios factores como: salinidad, humedad, temperatura, estratigrafía, presión, variaciones estacionales, etc. (ZABALA, 2013).

2.2.5 Naturaleza del terreno

Los terrenos son una mezcla de rocas, gases, agua y otros materiales orgánicos e inorgánicos, esta mezcla hace que los terrenos se consideren buenos, regulares o malos conductores en función de su naturaleza. El cuadro 1, describe algunos valores de resistividad para diferentes tipos de terreno.

Cuadro 1: Resistividad según la naturaleza del terreno.

NATURALEZA DE LOS SUELOS	RESISTIVIDAD (Ω -m)	
	MÍNIMA	MÁXIMA
Suelos orgánicos y pantanosos	---	30
Lodo	20	100
Húmedo	10	150
Arcillas Plásticas	---	50
Arcillas Compactas	100	200
Arena arcillosa	50	500
Arena silicosa	200	3000
Suelo con piedra	1500	3000
Suelo con piedra cubierto con hierba	300	500
Calcáreo blanco	100	400
Calcáreo compacto	100	5000
Granito y arena	100	1000

Fuente: (Harper, 2011).

Se puede observar que a medida que la roca es más compacta y más antigua, la resistividad es mayor. Los suelos de grano muy fino son muy buenos conductores por lo general, mejores que los de grano medio, y éstos a su vez mejores que los de grano grueso.

2.2.6 Humedad

La resistividad del terreno se ve influenciada de una manera significativa cuando existe la presencia de humedad en el suelo, apreciablemente cuando este valor cae por debajo del 20% del peso de éste, produciendo que la resistencia del terreno disminuya con el aumento de humedad.

Su valor varía con el clima, época del año y profundidad y para reducir el riesgo de accidentes fatales durante las fallas de fase a tierra, generalmente, se provee de una capa de grava sobre el área de la malla construida, que constituye el propio piso de la subestación. En el cuadro 2, se exhiben los efectos típicos de la humedad sobre el terreno.

Cuadro 2: Efecto de la humedad en la resistividad del terreno.

CONTENIDO DE HUMEDAD % POR PESO	RESISTIVIDAD (Ω -m)	
	TERRENO SUPERFICIAL	ARCILLA ARENOSA
0	10×10^6	10×10^6
2.5	2500	1500
5	1650	430
10	530	220
15	210	130
20	120	100
30	100	80

Fuente: (Harper, 2011).

Se puede observar que al estar secos en ambos tipos de terreno las resistividades son alrededor de 10 Mega ohm-m, siendo buenos aislantes. Sin embargo, con un contenido de humedad del 30%, se aprecia un decrecimiento drástico en la resistividad del terreno. (Cuenca, 2011)

2.2.7 Temperatura

La temperatura del terreno a profundidades normales de colocación de la malla de puesta a tierra afecta mucho en la resistividad del terreno y por ende a la resistencia del sistema de puesta a tierra. Cuando el terreno se enfría por debajo de 0°C , la resistividad aumenta muy rápidamente.

Si la magnitud de la corriente de cortocircuito es muy elevada, puede modificar el comportamiento de los electrodos de tierra, ya que da lugar a calentamientos alrededor de los conductores enterrados, que provocan la evaporación del agua, disminuyendo con esto la humedad en el terreno y perjudicando el sistema de puesta a tierra. En el cuadro 3, se muestra el efecto de la temperatura en la resistividad del terreno.

Cuadro 3: Efecto de la temperatura en la resistividad del terreno.

TEMPERATURA		RESISTIVIDAD (Ω-m)
°C	°F	
20	68	72
10	50	99
0 a -5	32 (agua)	138
	32 (hielo)	300
	23	790
-15	14	3300

Fuente: (Rojas, 2008).

Se puede notar que la resistividad continúa aumentando conforme baja la temperatura por debajo del punto de congelación.

2.2.8 Estratigrafía

Los terrenos están conformados por diferentes capas de agregados y por lo tanto poseen diferentes valores de resistividad.

Fig. 3: Estratigrafía del terreno.



Fuente: (Harper, 2011).

El desconocimiento de la resistividad de las capas inferiores, obliga al estudio y medición de las mismas si se requiere conocer el valor de la puesta a tierra a una determinada profundidad.

La resistividad media o aparente, será una combinación de la resistividad de las diferentes capas que conforman el terreno.

2.2.9 Salinidad

Al hablar de la influencia de compuestos químicos, especialmente de sales solubles y ácidos en la resistividad del terreno, se encuentra que afectan directamente en su valor.

Un terreno puede mejorar sensiblemente su valor de resistividad, únicamente añadiéndole sales, es decir, al aumentar la salinidad de un terreno su resistividad disminuye significativamente. El cuadro 4 muestra el efecto de la sal en la resistividad del terreno.

Cuadro 4: Efecto de la sal en la resistividad del terreno.

% DE SAL AGREGADA POR PESO DE HUMEDAD	RESISTIVIDAD (Ω -m)
0	107
0.1	18
1	4.6
5	1.9
10	1.3
20	1

Fuente: (Rojas, 2008).

2.2.10 Variaciones estacionales

Es lógico pensar, que la resistividad del terreno variará considerablemente en las diferentes épocas del año, esto es particularmente cierto en aquellos lugares donde hay variaciones extremas de temperatura, lluvia, temporadas secas y otras variaciones estacionales. Para conseguir mantener el valor de la resistividad lo más uniforme a lo largo del año, es conveniente instalar profundamente los electrodos en el terreno y proteger lo más posible el terreno de las intemperies del tiempo.

2.2.11 Compactación del terreno

La resistividad del terreno disminuye, cuando la compactación del terreno es grande. 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 entre varilla-terreno.

2.2.12 Importancia en la medición de la resistividad

La medición de la resistividad del terreno es de gran importancia para predecir los siguientes propósitos:

- a. Estimación de la Resistencia de Puesta a Tierra de una estructura o un sistema.
- b. Estimación de gradientes de potencial, incluyendo tensiones de paso y de contacto.
- c. Diseño de sistemas de protección.

Conocer la resistividad del terreno es esencialmente necesario para determinar el diseño de la conexión a tierra de instalaciones nuevas para poder satisfacer las necesidades de resistencia de tierra. (Cuenca, 2011)

2.3 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD Y LA RESISTENCIA

2.3.1 Factores a considerar al realizar mediciones del suelo

Al realizar mediciones de resistividad en el suelo y de resistencia en la malla de tierra, es necesario tomar en cuenta las condiciones climatológicas.

Podría presentarse el caso de que las lecturas ni se aproximen en la estación de verano a las realizadas en invierno. Los electrodos incrustados permanentemente deben ser compactados en su alrededor para un mejor contacto con capas húmedas del suelo.

2.3.2 Instrumento de medición

El Telurómetro o terrómetro es el nombre con el cual se conoce al instrumento de medición de resistividad del suelo y de resistencia en una malla de cables o a una varilla enterrada. El instrumento como tal, no muestra en su pantalla el valor de la resistividad de la medición, el valor obtenido es de resistencia (ver figura 4).

La medición se debe realizar en forma instantánea y automática, por lectura directa en una pantalla digital o analógica y se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

Para la precisión: el error máximo admisible es del 3 %. Las condiciones ambientales deben estar en un rango de 0 a 50 °C y humedad relativa de 90 %.

Función de voltímetro: en esta función el equipo debe medir en un rango de 0 a 200 V (corriente alterna).

- La pantalla: debe ser visible aún en condiciones de baja luminosidad y en un amplio ángulo.
- La alimentación: debe ser autónoma y alimentarse con pilas alcalinas.
- El rango de medición: este va de 0,00 hasta 10 000 Ω .
- Antes de realizar la medición de un terreno se aconseja realizar mediciones a resistencias de valores conocidos, que estén en el rango de
- 0 a 100 Ω .

Fig. 4: Telurómetro TESTECH.



Elaboración: Propia.

2.3.3 Medición de la resistividad del suelo

Al diseñar una nueva red de tierra, y especialmente al construir una nueva subestación eléctrica, es necesario realizar mediciones en el terreno, esto con el propósito de establecer el valor promedio que va a utilizarse para la

obtención de los demás parámetros, tales como: voltaje de paso, de contacto, necesarios para asegurar la integridad del personal y de los equipos que se van a utilizar.

2.3.4 Métodos de medición de resistividad

La norma IEEE 81–1983, describe una serie de técnicas o métodos de medición de resistividad del suelo, en la cual el método de los cuatro electrodos es el más aplicado. El número de lecturas debe ser mayor donde se presenten fuertes variaciones de valores, tanto verticales como horizontales.

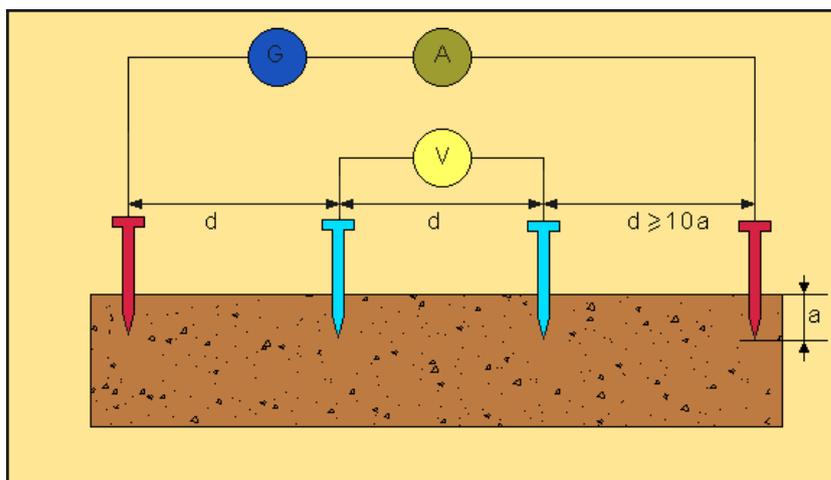
Existen diversos métodos de medición de resistividad, los cuales solo se mencionan como referencia, por enfocarse más en el método de Wenner o de los cuatros puntos. (Monroy, 2012)

Los nombres de algunos métodos son:

- Wenner
- Schlumberger–Palmer
- De toma de muestras
- Tetraelectrónico no rectilíneo.

2.3.5 Medida de la resistividad del terreno

Es importante que la resistividad de un suelo o terreno pueda verificarse en forma tan precisa como sea posible, ya que el valor de resistencia a tierra del electrodo es directamente proporcional a la resistividad del suelo. Motivo por el cual si se usa un valor incorrecto de resistividad del terreno en la etapa de diseño, la medida de impedancia del sistema de tierra puede resultar significativamente diferente de lo planificado.

Fig. 5: Medida de la resistividad del terreno.

Fuente: (Harper, 2011).

La prueba es realizada utilizando un medidor de tierra de cuatro terminales. Cuatro picas o estacas se clavan en el suelo como se muestra en el diagrama de la Figura 5, separado a una distancia “a” metros. La profundidad de cada pica se trata de que no exceda “a” dividido por 20 y normalmente es inferior a 0,3 metros. Las dos picas exteriores se conectan a los terminales de corriente C1 y C2 del instrumento y las picas interiores, a los terminales de potencial P1 y P2.

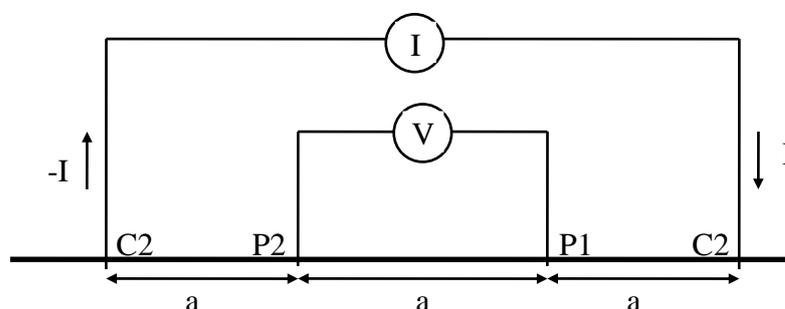
Si “R” es la lectura de resistividad del instrumento, en ohms, para una separación de “a” metros, entonces la resistividad aparente está dada por la siguiente fórmula:

$$\rho = 2. \pi. a. R \quad \dots(\text{Ec.4})$$

2.3.6 Método de Wenner

Este método consiste en un arreglo de cuatro electrodos espaciados igualmente como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Los cuatro electrodos están enterrados en la tierra a lo largo de una línea recta espaciados uniformemente y la longitud de enterramiento no debe ser menor que el 10% del espacio entre dos electrodos adyacentes.

Fig. 6: Arreglo de electrodos método Wenner.



Fuente: (Harper, 2011).

La corriente I es inyectada a la tierra por los electrodos exteriores y la diferencia de potencial V de la superficie de la tierra es medido por los electrodos internos. Los electrodos externos son llamados electrodos de corriente y los interiores electrodos de potencial. El papel de cada par de electrodos puede ser intercambiado sin cambiar la respuesta eléctrica, relación V/I . Esta relación, que mide el valor de la resistencia, es proporcional a la variable descrita como resistividad aparente ρ_a a una distancia a . El factor de proporcionalidad entre V/I y ρ_a es llamado factor geométrico α . La ecuación de resistividad es la siguiente:

$$\rho_a = \alpha * \frac{V}{I} \quad \dots(\text{Ec.5})$$

Cuando se asume una tierra uniforme el factor α es una función lineal del espaciamiento entre los electrodos y de la relación V/I . Este factor α resulta de resolver la ecuación 5 donde dR es la resistencia de un volumen de tierra encerrado entre dos superficies equipotenciales, ambas igual a $2*\pi*r^2$, y U es el potencial medido en un punto dado:

$$IdR = (U + dU) - U = dU \quad \dots(\text{Ec.6})$$

Cuando la solución se aplica para el método Wenner, los potenciales son determinados para cada electrodo de potencial, por lo cual se obtiene la siguiente ecuación de resistividad:

$$\rho_a = 2*\pi*a*\frac{V}{I} \quad \dots(\text{Ec.7})$$

De este modo se concluye que el factor geométrico α es igual a $2*\pi*a$.

2.3.7 Método de Schlumberger-Palmer

Este método también utiliza cuatro electrodos, con la diferencia que estos no se instalan a igual espaciamiento. Se utiliza para medir la resistividad con espaciamientos muy grandes entre los electrodos de corriente.

La corriente tiende a fluir cerca de la superficie para pequeños espaciamientos entre los electrodos. Así se asume que la resistividad medida para un espaciamiento entre electrodos “a” representa la resistividad aparente del suelo a una profundidad “b”.

La información de las mediciones puede incluir datos de temperatura e información sobre las condiciones de humedad del suelo en el tiempo en que se realizó la medición.

Los electrodos de potencial se localizan lo más próximo de los correspondientes electrodos de corriente, esto incrementa el potencial medido.

La fórmula empleada en este caso se puede determinar de esta manera: si la profundidad de los electrodos es pequeña comparada, con la separación “d” y “c”, entonces la resistividad aparente puede calcularse como:

$$\rho = \frac{\pi.c.(c+d).R}{d} \quad \dots(\text{Ec.8})$$

Dónde:

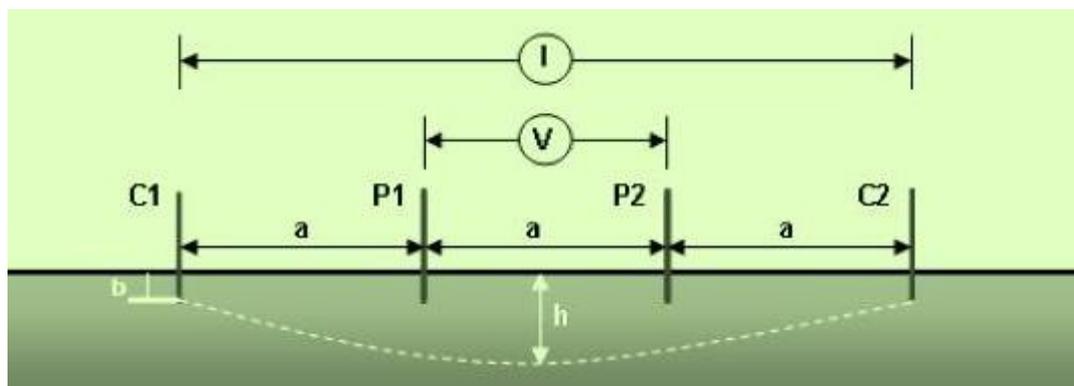
c = distancia entre un electrodo de potencial y uno de corriente, en m

d = distancia entre los electrodos de potencial, en m.

Además, con valores grandes de d/L, las variaciones de los valores medidos debidas a irregularidades en la superficie, se reducen dando mediciones más exactas.

Los objetos conductivos en contacto con el suelo pueden invalidar las lecturas si están lo suficientemente cerca, alterando el flujo de corriente del equipo de prueba. Un ejemplo puede ser la tubería metálica de agua.

El color del suelo y la humedad no es referente para determinar la resistividad del mismo. (Monroy, 2012)

Fig. 7: Método de Schlumberger-Palmer.

Fuente: (Monroy, 2012).

2.4 MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

La medida de la Resistencia de Puesta a Tierra o Resistencia de Dispersión de una Puesta a Tierra, es la verificación que se hace de dicho parámetro que debe cumplir las estipulaciones de las Normas y Reglamentos de seguridad y de calidad en el uso de la electricidad; se hace una vez que se ha concluido una instalación, para eventualmente mejorarla hasta el valor objetivo, o como parte de las actividades de conservación para prever su mantenimiento. En la práctica, una Puesta a Tierra realmente conforma una Impedancia cuya componente Resistiva predomina sobre las componentes reactivas que pueden ser muy pequeñas.

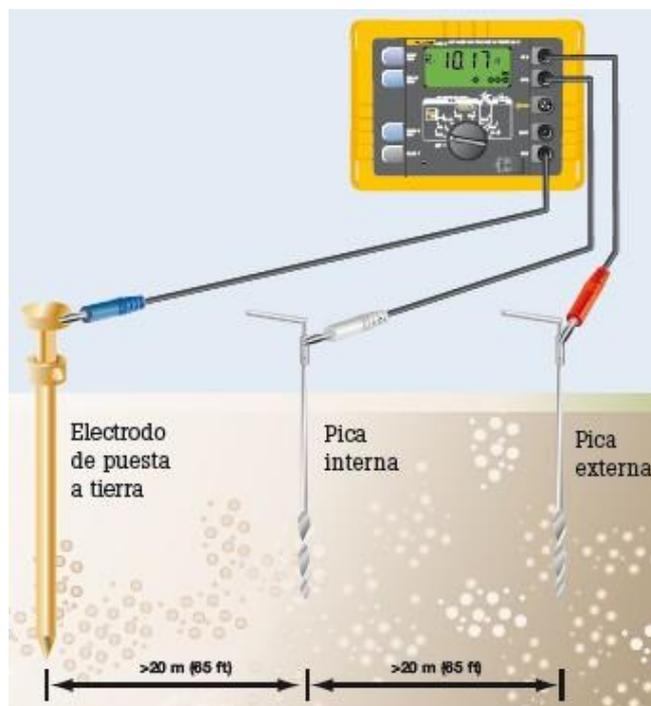
La Resistencia de una Puesta a Tierra por tratarse de una instalación subterránea, depende en principio de la composición y características del suelo y de la extensión y configuración del electrodo enterrado, no obstante, puede variar también con la incidencia de los agentes externos del medio ambiente y del clima estacional, que le afectan a través de la temperatura y de las precipitaciones.

Aun contando con un suelo favorable, en lugares donde el frío invernal congela la superficie del suelo, una Puesta a Tierra instalada a poca profundidad verá aumentada su resistencia; asimismo, si la temperatura de la estación es demasiado alta y hubo escasa recarga de humedad, la Resistencia también aumentará debido al desecamiento y a la permeabilidad del suelo. (TOMASEVICH, 2003)

2.4.1 Fundamento Básico de la Medida Convencional

La medida de la Resistencia de Puesta a Tierra consiste en hallar la Resistencia Eléctrica del suelo que rodea al armado de electrodos enterrados, dado que dicha porción de suelo es atravesado por las líneas de corriente que se dispersan para dirigirse a la fuente o que se concentran al llegar de retorno a la fuente.

Como se sabe, toda Resistencia Eléctrica tiene dos bornes de conexión por donde se le mide; en el caso de la Puesta a Tierra una mecha cualquiera que emerge del armado de electrodos es uno de dichos bornes, mientras que el otro borne es el extremo no directamente accesible que llega al plano equipotencial ($V=0$) de la “Tierra Remota” y que por tanto se confunde con cualquiera de sus puntos más próximos a la instalación, que cumplen con tener ($V=0$), cuando circula una corriente que se inyecta por el borne accesible.

Fig. 8: Medida de resistencia de tierra.

Fuente: (Monroy, 2012).

2.4.2 Aplicación del Principio de Caída de Potencial

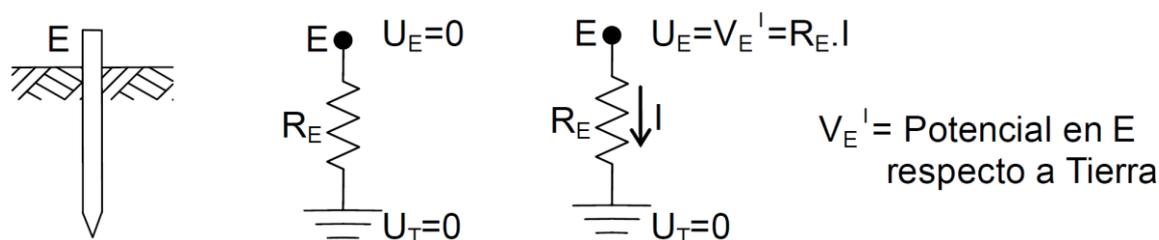
El método de Caída de Potencial resuelve el problema de ubicar sobre la superficie del suelo, un punto representativo del segundo borne de la Puesta a Tierra, al identificar la condición propia de la “Tierra Remota”, mediante un punto de potencial ($V=0$), que por definición pertenece a dicha superficie equipotencial. Al clavar en el suelo, 2 electrodos sucesivos y alineados con la Puesta a Tierra (E) que se desea medir, uno de ellos será el de Potencial (P) y el otro el de Corriente (C); el método consiste en aplicar una Corriente (I) que circule por el suelo entre (E) y (C) y retorne por un circuito aislado aéreo, y medir la diferencia de potencial que aparece entre (E) y (P), cabe anotar que se considera que los Electrodo (P) y (C) tienen idéntico radio hemisférico

equivalente puntual y están a una gran distancia respecto a (E) cuyo radio hemisférico es (r_0).

2.4.3 El Circuito de Corriente de Medida

Primero representamos el electrodo de Puesta a Tierra (E) como una varilla enterrada; al hacer fluir una Corriente (I) hacia la Tierra Remota a través de (E), la Resistencia de Puesta a Tierra desde (E) a la que llamaremos (R_E) dará una diferencia de Potencial (U_E), entre el electrodo (E) y el electrodo remoto de Potencial cero (U_T).

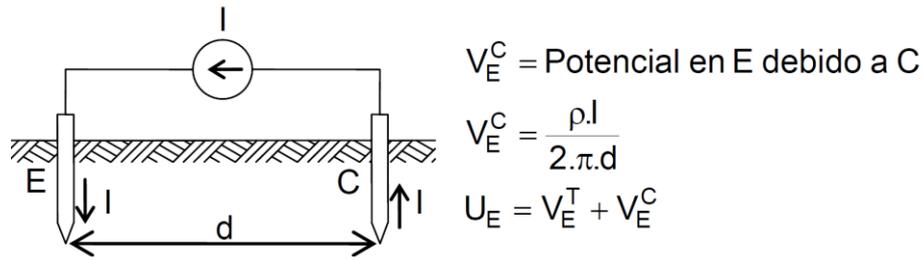
Fig. 9: Representación del Electrodo de Puesta a Tierra (E).



Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

Seguidamente, colocamos un electrodo (C) a una distancia (d) de (E), y hacemos fluir por el suelo la corriente (I) entre ambos electrodos, de modo que en (E) se induce un potencial (V_E^C) debido a la corriente (I) que circula por (C), considerando que la Resistividad del suelo (ρ) es homogénea.

Fig. 10: Potencial inducido en un electrodo (E).

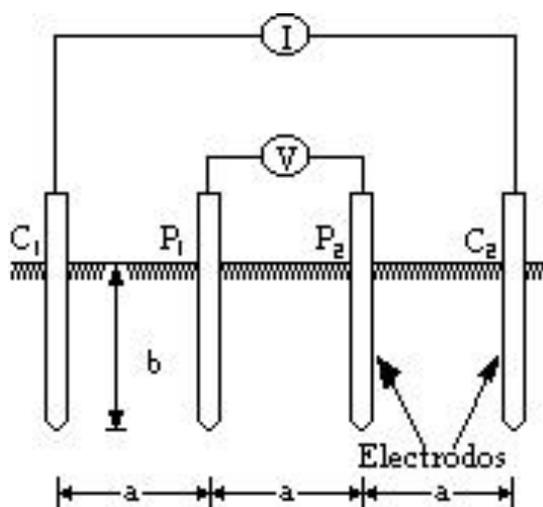


Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

2.4.4 Esquema de los Circuitos de Corriente y Potencial de Medida

Finalmente se configura el Circuito de Medidas con el principio de Caída de Potencial, que agrega un electrodo intermedio (P) entre (E) y (C), de modo que se puede medir la d.d.p. (V) entre (E) y (P), manteniendo la Corriente (I) circulando entre (E) y (C), lo que permite definir las expresiones de los potenciales de electrodo (U_E) y (U_P) y determinar la expresión de (V), para despejar (RE).

Fig. 11: Esquema de los circuitos.



Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

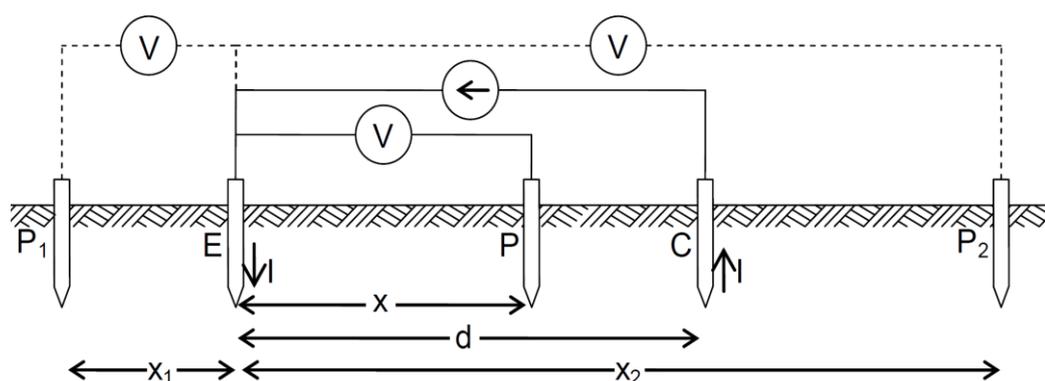
2.4.5 Disposición de los Puntos de Medida

En el pasado reciente, aparte la disposición convencional en línea recta y sucesiva partiendo desde la Puesta a Tierra, del esquema de medida de la Resistencia de Dispersión, no había consenso sobre la postulación para los casos que tengan que adecuarse a las limitaciones del terreno, de medidas con distintas ubicaciones del punto (P) en relación al electrodo (E) y al electrodo (C), tanto manteniéndose sobre la misma línea recta como haciendo un ángulo con el vértice en (E); pasamos a analizar cada caso: (TOMASEVICH, 2003)

2.4.5.1 Medidas en Línea Recta con Reubicación de (P)

Anteriormente se analizó el circuito de medidas en línea recta con el electrodo de Potencial (P) ubicado entre la Puesta a Tierra (E) y el electrodo de Corriente (C); en ésta ocasión se analizarán otras posibles ubicaciones de (P) sobre la misma línea recta.

Fig. 12: Medidas Sobre una Línea Recta con Reubicación de (P).



Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

2.4.5.2 Medidas con el Electrodo de Potencial en (P₁)

Cuando el electrodo de Potencial (P₁) se encuentra al lado izquierdo del Electrodo de Puesta a Tierra (E), la ecuación del Error de Medición (R_{e1}) sería:

$$Re_1 = \frac{\rho}{2\pi} \left(-\frac{1}{d} - \frac{1}{x_1} + \frac{1}{(d + x_1)} \right) \quad \dots(\text{Ec.9})$$

Dicha ecuación sólo tiene raíces complejas, es decir no tiene soluciones reales, en esta disposición de medidas el Error de Medición siempre será diferente de cero (R_{e1}≠0), en otras palabras, no es posible obtener una medida exacta, por tanto, dicho esquema se excluye para las medidas.

2.4.5.3 Medidas con el electrodo de Potencial en (P₂)

Cuando el electrodo de Potencial (P₂) se encuentra al lado derecho del electrodo de Corriente (C), la ecuación del Error de Medición (R_{e2}) sería:

$$Re_2 = \frac{\rho}{2\pi} \left(-\frac{1}{d} - \frac{1}{x_2} + \frac{1}{(x_2 - d)} \right) \quad \dots(\text{Ec.10})$$

Tendríamos:

$$1,62 = \frac{x_2}{d} \quad \dots(\text{Ec.11})$$

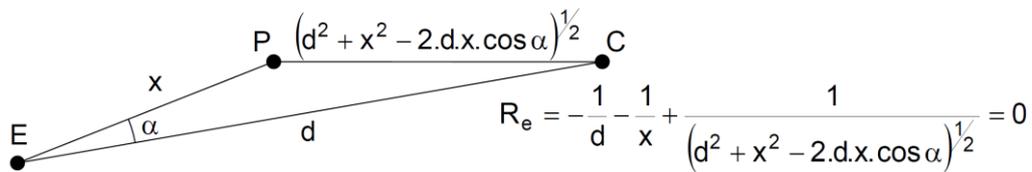
Lo cual significa que si es posible obtener una medida exacta usando esa configuración, pero requiere mayor longitud en los conductores de medida.

2.4.5.4 Medidas con los Circuitos Formando un Angulo

Para los casos en que el terreno ocupado obligue a ubicar los electrodos (P) y (C) formando un ángulo con el vértice en (E), en tal forma que la relación de

distancias cumpla con la condición ($R_e=0$). Se analiza dicha posibilidad, en forma similar a los casos anteriores, aplicando la Ley de los Cosenos para hallar la distancia PC.

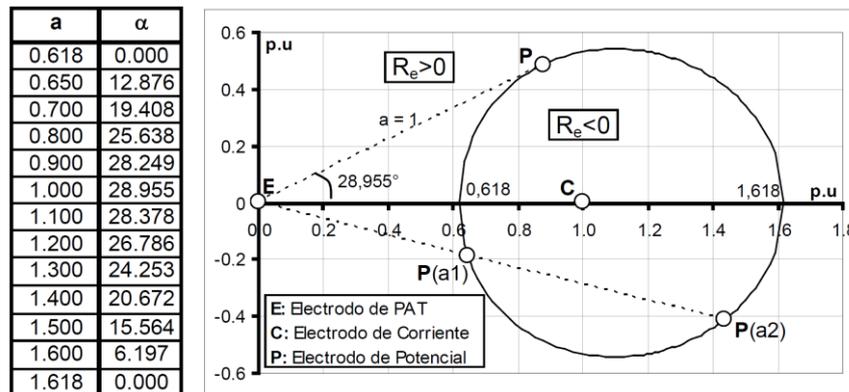
Fig. 13: Esquema de Circuitos de Corriente y Potencial formando Angulo.



Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

Con dicha expresión y considerando suelo homogéneo se hace la gráfica del lugar geométrico de los puntos (P) en torno a (C), en por unidad de la posición en la cual el Electrodo de Potencial (P) verifica un error ($R_e=0$) y revela su posición para un ángulo máximo de medición.

Fig. 14: Disposición de Electrodo Para Medidas en Angulo.



Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

2.4.5.5 Angulo Máximo (α) Entre Circuitos.

Se observa que cuando ($x=d$) y ($a=1$), el ángulo que permite un Error de Medición ($R_e=0$) tiene como valor ($\alpha=28.95^\circ$); asimismo, se verifica que para la medida en línea recta con ($\alpha=0^\circ$), la relación (a) de distancias entre los circuitos

de Potencial y de Corriente, cumple ($R_e=0$) con distancias 0,618 pu y con 1.618 pu.

Se observa también que para cada valor de ($\alpha < 28.95^\circ$) existen dos raíces reales, es decir dos valores posibles para (a), uno mayor y otro menor que (1), mientras que para valores de ($\alpha > 28.95^\circ$), no existen raíces reales, ello implica que no existen ubicaciones que verifiquen un valor exacto de medición, cumpliendo ($R_e=0$).

2.4.6 Longitud de Circuitos de Medida

Se observa que cada par de raíces reales (a_1) y (a_2) cumple con la relación ($a_1 \cdot a_2 = 1$); tomando como ejemplo ($\alpha = 16^\circ$) que tiene ($a_1 = 0.6698274491$) y ($a_2 = 1.4929217985$), se comprueba la mencionada relación. Al respecto se presenta la tabla de ángulos de medida (α) con sus respectivos pares de raíces (a_1) y (a_2).

En la práctica, sólo los valores de ($a \leq 1$) son susceptibles de aplicación, porque significan una menor longitud del conductor de medidas entre la Puesta a Tierra (E) y el Electrodo de Potencial (P(a_1))). (TOMASEVICH, 2003)

2.4.7 Cálculo del Error (R_e) de Medidas en Angulo

Como se ha visto, medidas con circuitos en ángulos mayores que 28.955° no permiten ubicar el Electrodo de Potencial (P) para obtener valores exactos; es decir, siempre van a presentar un Error de medidas (R_e) que procedemos a cuantificar sabiendo que (R_E) es la Resistencia de PAT, (V) es la tensión medida, (I) es la corriente inyectada, (x) es la distancia del circuito Potencial y (d) es la distancia del circuito de Corriente.

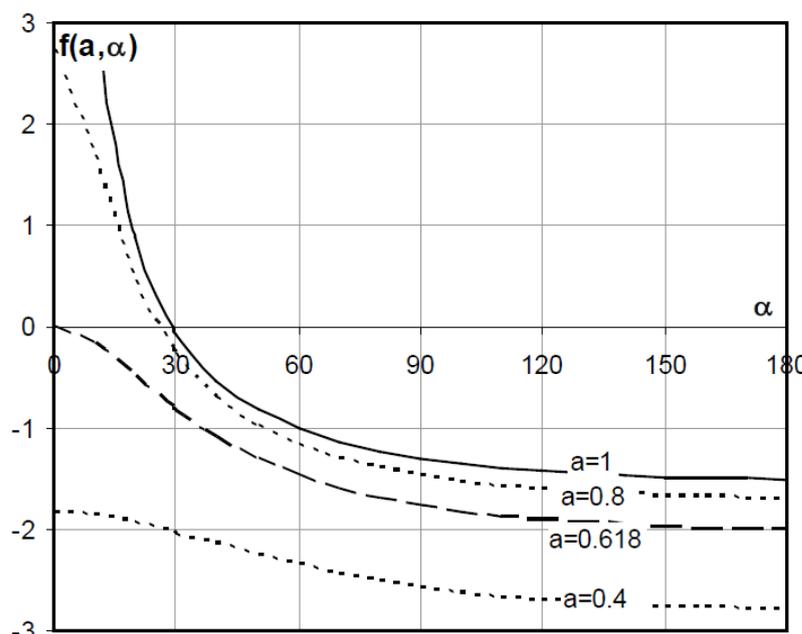
$$Re = \frac{\rho}{2\pi d} \cdot f(a, \alpha) \quad \dots(\text{Ec.12})$$

Dónde:

$$R_E = \frac{V}{I} - Re \quad \dots(\text{Ec.13})$$

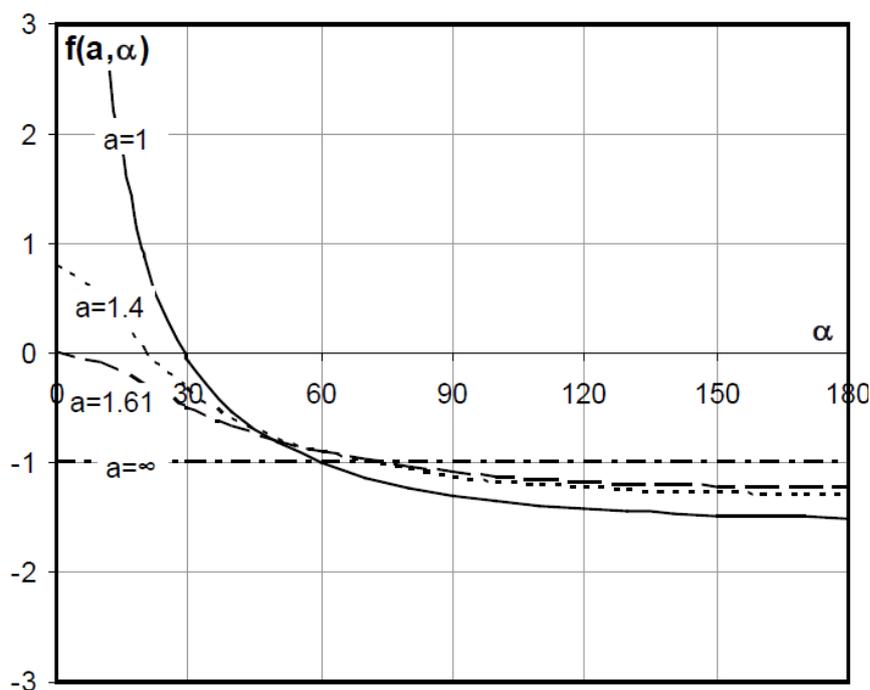
Se hace notorio que al incrementarse la distancia (d) entre el electrodo de Corriente y la Puesta a Tierra, el Error de Medida (R_e) disminuye independientemente de (a) o del ángulo (α); entonces dicha variación se presenta como función de (a) y del ángulo (α) en las gráficas siguientes, para valores representativos de (a), cuando $a < 1$ y $a > 1$.

Fig. 15: Tendencia del Error en medidas.



Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

Fig. 16: Error en medidas de PAT en ángulo, en función a valores de $(a) < 1$.



Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

De ellas se puede apreciar que, cuando (a) tiende a cero la función de Error $f(a, \alpha)$ tiende al infinito, mientras que cuando (a) tiende a infinito, la función de Error $f(a, \alpha)$ tiende a 100, bajo cualquier valor del ángulo (α) .

2.4.8 Efecto de acoplamiento mutuo entre conductores

Las medidas de Resistencia de Puesta a Tierra, principalmente en Subestaciones de gran extensión y baja Impedancia, presentan el problema del efecto de acoplamiento entre conductores de medida; es decir, se produce un error debido al Voltaje inducido en el conductor de medida de tensión por la corriente que fluye por el conductor de inyección de corriente [38]. La medida en ángulo reduce dicho efecto, debido a que los conductores ya no se extienden en forma paralela.

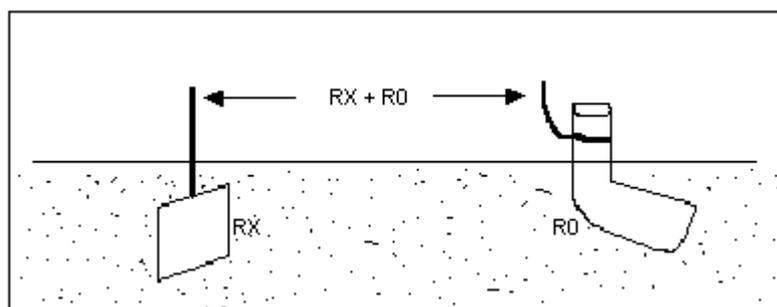
2.4.9 Medidas Aproximadas de Resistencia de Puesta a Tierra

Se trata de medidas convencionales cuyo esquema de circuitos de Potencial y de Corriente sigue una línea recta desde la Puesta a Tierra; en este caso se considera que dichos circuitos corren paralelos a 1m de distancia y el suelo es homogéneo

2.4.9.1 Método de 2 Puntos

Este método utiliza como referencia una Puesta a Tierra existente de gran extensión cuya Resistencia sea de $1,0\Omega$ (Red de Puesta a Tierra, Tubería metálica enterrada, etc.) conectándola en serie con la Puesta a Tierra de valor desconocido que tiene pequeña extensión (típicamente un electrodo) y se procede de la siguiente manera:

Fig. 17: Medida de Resistencia de Puesta a Tierra – Método de 2 Puntos.



Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

2.4.9.2 Circuito de Medida de la Resistencia

La corriente inyectada en circuito cerrado por el instrumento <Ohmímetro>, pasa de la Puesta a Tierra de referencia a la Puesta a Tierra incógnita, a través del volumen de suelo que hay entre ambas, midiendo la Resistencia a través de dicho volumen de suelo.

2.4.9.3 Consistencia del Método

El método no logra que la corriente se oriente hacia la “Tierra Remota” dispersándose como ocurre aplicando el Principio de Caída de Potencial; en consecuencia todo valor de Resistencia obtenido, no será representativo del valor de Resistencia de Puesta a Tierra buscado, por lo que este método debe ser desestimado para medidas aproximadas. (TOMASEVICH, 2003)

2.4.9.4 Método Estandarizado del 62%

Según se mencionó anteriormente, considerando una Resistividad (ρ) de Suelo homogéneo, se aprecia que el valor exacto de la Resistencia de Puesta a Tierra (R_E) se logra haciendo que ($R_e=0$); entonces se hace necesario establecer la relación entre las distancias de los circuito de medidas.

$$R_e = \frac{\rho}{2\pi} \left(-\frac{1}{d} - \frac{1}{x} + \frac{1}{(d-x)} \right) = 0 \quad \dots(\text{Ec.14})$$

Entonces:

$$-\frac{1}{d} - \frac{1}{x} + \frac{1}{(d-x)} = 0 \quad \dots(\text{Ec.15})$$

2.4.9.5 Los Circuitos de Medida

Se caracterizan por sus distancias, el circuito de Potencial (x) une la Puesta a Tierra con el electrodo (P) y el circuito de Corriente (d) une la Puesta a Tierra con el electrodo (C) de Corriente.

2.4.9.6 La Relación Funcional Para Error Cero

Para simplificar el cálculo, se define el valor de (a) como la relación entre las distancias del circuito de Potencial (x) y del circuito de Corriente (d), y resolviendo resulta:

$$a = \frac{x}{d} \quad \dots(\text{Ec.16})$$

Entonces:

$$-1 - \frac{1}{a} + \frac{1}{(1-a)} = 0 \quad \dots(\text{Ec.17})$$

$$\frac{-1 + \sqrt{5}}{(2)} = a \quad \dots(\text{Ec.18})$$

Resolviendo tenemos:

$$x = 0,62 d = 62\% d$$

2.4.10 Participación de Suelos Estratificados

La realidad es que básicamente solo existen suelos estratificados, en los que a veces puede darse el estrato superficial de gran espesor, al que el procesamiento de las medidas interpreta como suelo homogéneo (monoestrato); según ello, las medidas de Resistencia de Puesta a Tierra, para ser precisas deben considerar la presencia de los estratos que influyen mediante los respectivos coeficientes de reflexión.

2.4.11 Medida con los Circuitos en Línea Recta

En los análisis anteriores, se consideró el caso ideal en que la Resistividad del suelo es homogénea ($\rho_1 = \rho_2$); en éste caso se analiza el Error de Medición (R_e) cuando los estratos superficial y subyacente tienen Resistividades distintas.

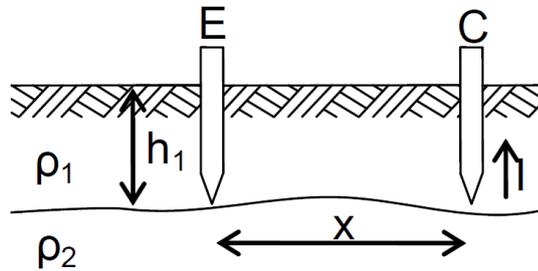
En un suelo de dos estratos (ρ_1) y (ρ_2), con un espesor (h_1) del estrato superficial y un Factor de Reflexión (K), se tiene:

$$V_E^C = \frac{\rho_1}{2\pi} I \left(\frac{1}{x} + 2 \sum_{n=1}^{\alpha} \frac{k^n}{\sqrt{x^2 + (2nh)^2}} \right) \quad \dots(\text{Ec.19})$$

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad \dots(\text{Ec.20})$$

Donde el potencial en el electrodo (E) debido a una corriente (I) en el electrodo (C) será:

Fig. 18: Potencial inducido en un electrodo (E).



Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

2.4.11.1 Medida de Resistencia de Puesta a Tierra – Disposición Clásica

Considera la ubicación del electrodo de Potencial (P) dentro del tramo entre la Puesta a Tierra (E) y el electrodo de Corriente (C); según ello se tiene:

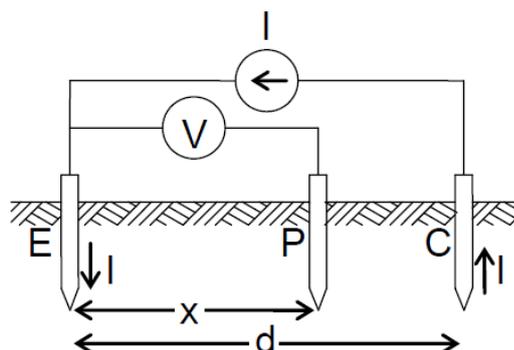
$$V_P^E = \frac{\rho_1}{2\pi} I \left(\frac{1}{x} + 2 \sum_{n=1}^{\alpha} \frac{k^n}{\sqrt{x^2 + (2nh_1)^2}} \right) \quad \dots(\text{Ec.21})$$

Haciendo $Re=0$, tenemos:

$$R_e = V_E^C - V_P^E - V_P^C = 0 \quad \dots(\text{Ec.22})$$

$$-\frac{1}{a} + \frac{1}{1-a} + 2 \sum_{n=1}^{\alpha} k^n \left(-\frac{1}{\sqrt{1-U^2}} - \frac{1}{\sqrt{a^2-U^2}} - \frac{1}{\sqrt{(1-a)^2+U^2}} \right) = 0 \quad \dots(\text{Ec.23})$$

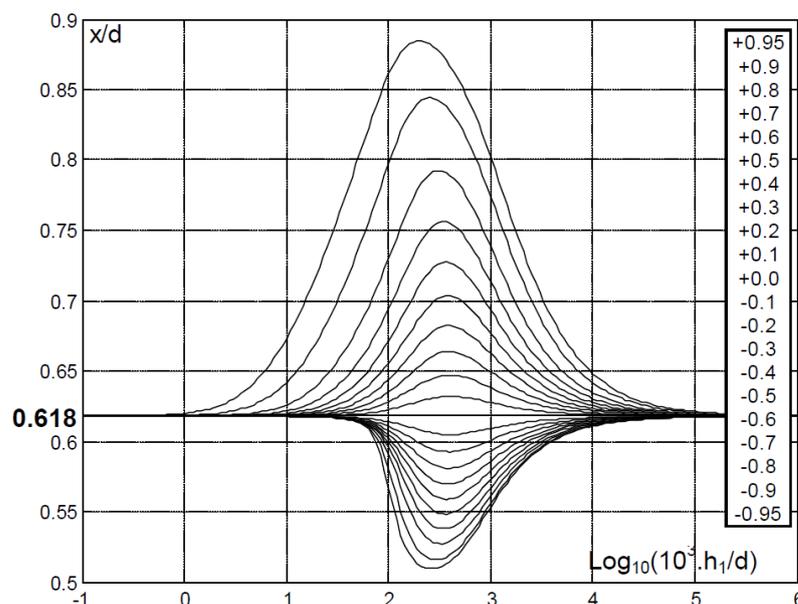
Fig. 19: Disposición Clásica de Medidas de R_T .



Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

A partir de cuya expresión obtenemos la Gráfica de curvas de correlación de distancias de los circuitos de medida, según el Factor de Reflexión:

Fig. 20: Familia de Correlación de Distancias de Medida Clásica de R_T .



Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

Dicha Familia de Curvas consigna la nueva relación ($a=x/d$) para un suelo estratificado ($K \neq 0$), cuya capa superior tiene una profundidad (h_1); asimismo, se puede notar que para relaciones (h_1/d) de alrededor de 0.01 y Factores de

Reflexión (K) de entre -0.5 y 0.5, la relación (x/d) se mantiene aproximadamente igual a 0.618.

2.4.11.2 Medida de la Resistencia de Puesta a Tierra - Disposición Alternativa

Considera la ubicación del electrodo de Corriente (C), dentro del tramo entre la Puesta a Tierra (E) y el electrodo de Potencial (P); según ello se tiene:

$$V_E^C = \frac{\rho_1}{2\pi} I \left(\frac{1}{d} + 2 \sum_{n=1}^{\alpha} \frac{k^n}{\sqrt{d^2 + (2nh_1)^2}} \right) \quad \dots(\text{Ec.24})$$

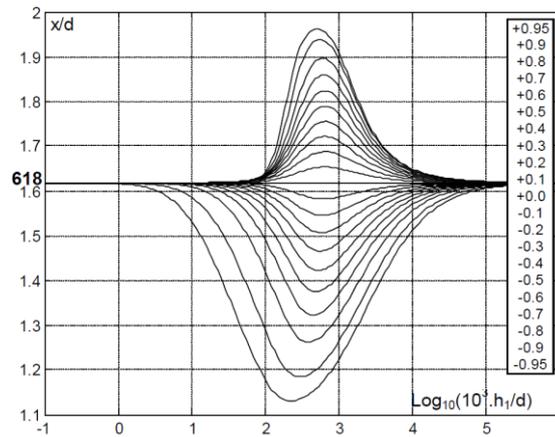
$$V_P^C = \frac{\rho_1}{2\pi} I \left(\frac{1}{x-d} + 2 \sum_{n=1}^{\alpha} \frac{k^n}{\sqrt{(x-d)^2 + (2nh_1)^2}} \right) \quad \dots(\text{Ec.25})$$

$$V_P^E = \frac{\rho_1}{2\pi} I \left(\frac{1}{x} + 2 \sum_{n=1}^{\alpha} \frac{k^n}{\sqrt{x^2 + (2nh_1)^2}} \right) \quad \dots(\text{Ec.26})$$

Realizando un desarrollo similar al anterior se obtiene la siguiente expresión, con la cual se obtiene la Gráfica de curvas de correlación de distancias según el Factor de Reflexión:

$$-1 - \frac{1}{a} + \frac{1}{1-a} + 2 \sum_{n=1}^{\alpha} k^n \left(-\frac{1}{\sqrt{1-U^2}} - \frac{1}{\sqrt{a^2-U^2}} - \frac{1}{\sqrt{(1-a)^2+U^2}} \right) = 0 \quad \dots(\text{Ec.27})$$

Fig. 21: Familia de Correlación de Distancias de Medida Alternativa de R_T .



Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

2.4.12 Medida con los Circuitos Formando un Ángulo

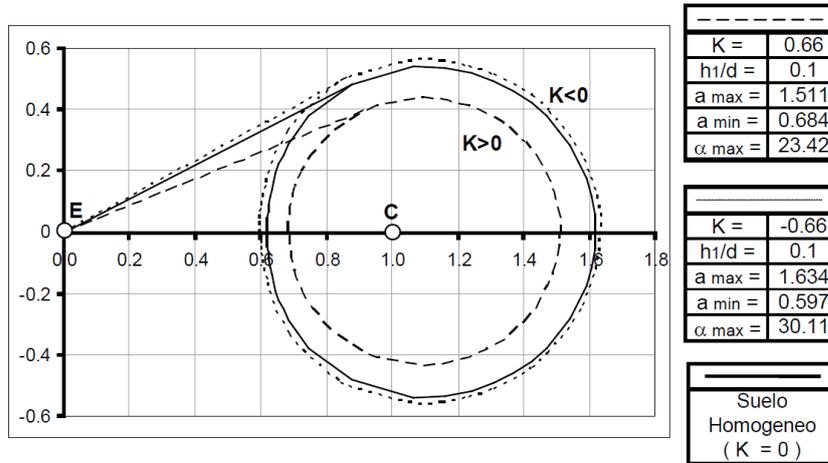
Con un desarrollo analítico similar al realizado <suelos homogéneos>, para el despliegue de circuitos de medidas formando un ángulo con el vértice en la Puesta a Tierra, se obtiene la siguiente ecuación, que se analiza a modo de ejemplo según dos casos posibles de medidas en un suelo biestrato con Resistividades de ($\rho_1=500\Omega.m$) y ($\rho_2=100\Omega.m$):

$$\begin{aligned}
 & -1 - \frac{1}{a} + \frac{1}{\sqrt{1 + a^2 - 2a \cdot \cos\alpha}} \\
 & + 2 \sum_{n=1}^{\alpha} k^n \left(-\frac{1}{\sqrt{1 - U^2}} - \frac{1}{\sqrt{a^2 - U^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 + a^2 - 2a \cdot \cos\alpha}} \right) \dots(\text{Ec.28}) \\
 & = 0
 \end{aligned}$$

2.4.12.1 Primer Caso con Relación $(h_1/d)=0,1$

La grafica resultante para Factores de Reflexión ($K=-0,66$) y ($K=0,66$), presenta el lugar geométrico de las posiciones de medida exacta del electrodo de Potencial (P) en por unidad de la distancia entre el electrodo de Corriente (C) y la Puesta a Tierra (E).

Fig. 22: Primer Caso de Lugares Geométricos (pu).

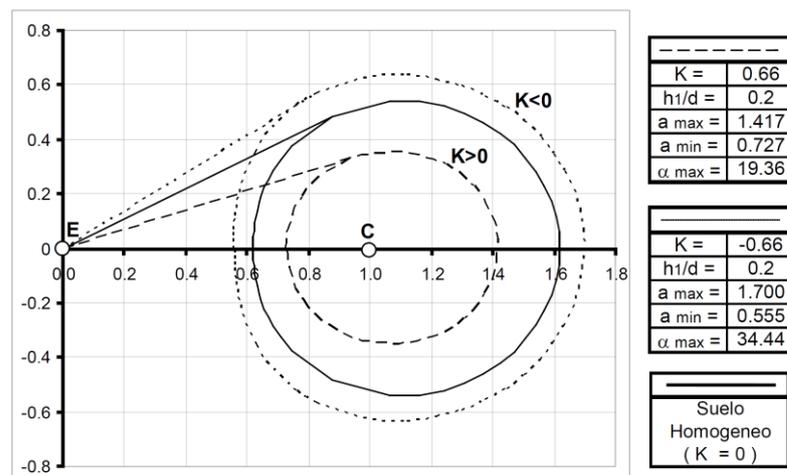


Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

2.4.12.2 Segundo Caso con Relación (h₁/d)=0,2

La grafica resultante para Factores de Reflexión (K=-0,66) y (K=0,66), presenta el lugar geométrico de las posiciones de medida exacta del electrodo de Potencial (P) en por unidad de la distancia entre el electrodo de Corriente (C) y la Puesta a Tierra (E).

Fig. 23: Segundo Caso de Lugares Geométricos (pu).



Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

2.4.12.3 Apreciación de las Medidas Formando Angulo

Del examen de ambos casos de medidas con circuitos formando un ángulo con vértice en la Puesta a Tierra se concluye:

- Que al incrementarse la relación (h_1/d) el efecto del suelo estratificado <no homogéneo> en la posición del Electrodo de Potencial se incrementa.
- Se hace evidente que al disminuir el valor del Coeficiente de Reflexión (K) el ángulo máximo para una medida exacta aumenta y viceversa.
(TOMASEVICH, 2003)

2.4.13 Medidas Precisas de Resistencia de Puesta a Tierra

Se trata de la aplicación de medidas clásicas con circuitos de Potencial y Corriente que siguen una misma directriz en línea recta, recordando la condición que todo posible ángulo entre dichos circuitos, que pueda imponer la ocupación del terreno, tiene según la conformación del suelo un límite y cada ángulo impone la corrección de las distancias respectivas según el ángulo formado.

2.4.13.1 Método Progresivo Punto por Punto

En los casos en que es difícil contar previamente con las Resistividades del suelo en modelo de dos estratos, la Resistencia de Puesta a Tierra se puede determinar en forma analítica (exacta) utilizando la Característica de (i) puntos de medida progresiva de la Resistencia Aparente (R_i vs x_i), obtenidos a lo largo de la distancia rectilínea (d) entre la Puesta a Tierra y el electrodo (C).

Este método se puede aplicar para medir pequeños valores de RPT en suelo irregular y/o con estratos de espesor variable (laderas de cerro, terrazas).

- Se determina la distancia del Electrodo de Corriente ($C_1C_2 = d$), según Norma CEI con 5 Diagonales o Norma IEEE con 6.5, la cual se divide en 10 segmentos iguales ($i = 9$ puntos).
- Se hacen las medidas progresivas de (R) con el Electrodo (P_2) en cada punto intermedio (x_i), alejándose cada (10% d) de la PAT, se obtienen 9 puntos en total.
- Los 9 Puntos (R_i) vs (x_i) se grafican, se lisa la Curva mediante una regresión matemática, luego se halla la respectiva Cónica o Función Continua $f(x)$
- La Curva cruza a su Tangente (pendiente cero) en el Punto de Inflexión (PI), en el que la concavidad cambia de sentido, luego $f''(x)$ cambia de signo.
- Para localizar analíticamente (PI), se determina el valor de abscisas (p) en el que $f''(x)=0$, o en el que $f''(x)$ no está definida.
- La proyección del (PI) en Ordenadas da el resultado esperado (R_T) exacto.
- La mayor precisión gráfica se obtiene con la mayor distancia (d) posible, si ($d \gg 5D$) la (R_T) exacta puede hallarse con el criterio aproximado $x = 0.618 (d)$
- También se puede hallar la (R_T) aproximada en forma gráfica cuando ($d=5D$); se entra en abscisas con ($x=62\%d$), se intercepta la curva y se proyecta el punto en ordenadas. (TOMASEVICH, 2003)

2.4.13.2 Método Estandarizado de Un Solo Punto (x/d)

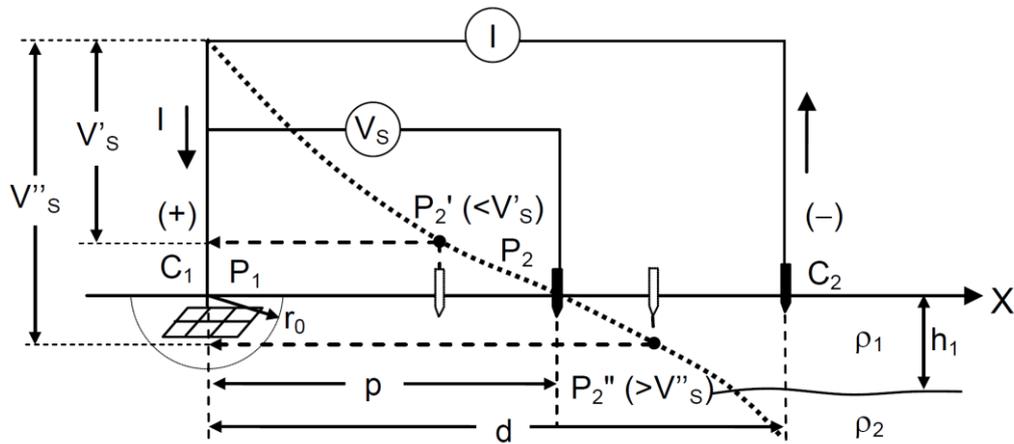
En suelos con dos o más Estratos, sobre todo cuando el estrato superficial es grueso y los Sistemas de PAT son concentrados y de baja Resistencia de Dispersión, la ubicación exacta del punto (P_2) influye en la medida de (R_T) al no ser conocida.

- Dicho punto (P_2) ya no se ubica a una distancia ($x=0.618 d$), como ocurre cuando el suelo presenta Resistividad homogénea (estrato superficial muy grueso)
- En suelo estratificado para toda distancia (d) del circuito de Corriente (I), existirá una distancia precisa (x) del Circuito de Potencial (V_s)
- La Resistividad del estrato subyacente (ρ_2) del suelo, influye en el flujo de las corrientes inyectadas (I), en función del factor de Reflexión.

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad \dots(\text{Ec.29})$$

- El Factor de Reflexión (K), define la nueva ubicación del punto (P_2), en función de la distancia (d) y del espesor del estrato superficial (h_1).

Fig. 24: Esquema de Medida de RT, Método de un sólo Punto.



Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

- Al no ser correctamente ubicado (P_2), con respecto de las Resistividades del suelo estratificado, la medida de (R_T) tendrá imprecisiones según que la posición del punto (P_2) esté en (P_2') o en (P_2''); los resultados serán distintos:
- Medidas con Potencial entre (C_1 y P_2'): **Optimista** (mide $< R_T$)
- Medidas con Potencial entre (C_1 y P_2''): **Pesimista** (mide $> R_T$) • La distancia de circuito de corriente ($d > 20 r_0$), se determina al igual que en todos los casos respecto de (r_0); la distancia del circuito de potencial según (K).
- Para las medidas exactas se debe contar con los parámetros (ρ_1 , ρ_2 , h_1) del Perfil de Resistividades del suelo en modelo de dos Estratos.
- Para la medida precisa única, habiendo determinado la distancia (d) se debe hallar (p) en la siguiente forma:
 - Entrar en Abscisas con la relación (h_1/d) calculada como sigue: $\text{Log}(10^3 h_1 / d)$

- Interceptar la curva del Factor de Forma correspondiente al suelo en el que se halla la Puesta a Tierra: $K = (\rho_2 - \rho_1) / (\rho_2 + \rho_1)$
- Proyectar hacia Ordenadas y determinar en ésta el Valor de (p/d) , que corresponde a la relación que rige la medida (está dado en p.u.)
- Dado que se conoce (d) , se determina la correspondiente (p) y con dichos valores se tienden los circuitos para la medida precisa. (TOMASEVICH, 2003).

2.4.14 Criterio Respecto a la Extensión de la Puesta a Tierra

Cuando se mide la Resistencia de una Puesta a Tierra de poca extensión (como es un electrodo puntual) no se toma en cuenta la Impedancia <es ínfima>, porque sólo predomina el valor Resistivo que resulta comparativamente muy grande; sin embargo, en instalaciones de gran extensión (como las Redes de Puesta a Tierra de Subestaciones) dentro del valor compuesto objetivo de diseño que no debe superar $1,0\Omega$, se halla implícita la impedancia, pero siendo pequeña no se la puede medir con instrumentos ni métodos convencionales.

2.4.15 Principio de las Medidas

Todas las técnicas de medidas que se conocen, aplican la inyección de una mediana Corriente (I) en baja frecuencia ($\pm 5\%$ FI), entre la Red de Puesta a Tierra a medir y aquella de Retorno, midiendo al mismo tiempo con un Voltímetro de precisión en (mV) y con alta Impedancia, la Tensión (V_s) hacia el electrodo de Referencia de Potencial ubicado de 3 a 5 km, cuya ruta es distinta (a 90° o más para reducir el acoplamiento mutuo) del circuito de corriente;

ambos son circuitos auxiliares aislados; en ausencia de interferencias la Impedancia medida (Z_T) resultaría dada por:

$$Z_T = \frac{V_s S}{I} \angle \varphi_T \quad \dots(\text{Ec.30})$$

2.5 LA INFLUENCIA DE LA ELECTRICIDAD EN EL CUERPO HUMANO

2.5.1 La electropatología

Esta disciplina estudia los efectos de la corriente eléctrica, que puede producir lesiones en el organismo. Las consecuencias del paso de la corriente por el cuerpo humano pueden ocasionar desde una simple molestia hasta la muerte, dependiendo del tipo de contacto. La muerte no necesariamente es súbita sino más bien retardada.

Los accidentes de origen eléctrico pueden ser producidos por:

Contactos directos:

- Por contacto entre fase a fase
- Por contacto entre fase a neutro
- Por descarga de electricidad estática a tierra

Siendo provocados en el momento que se pone en contacto la piel con una fuente de energía.

Contactos indirectos:

- Por tensión de paso o transferida
- Por inducción electromagnética
- Por impacto de rayo

- Por fulguración

Siendo provocados por la influencia de una fuente de alta energía.

2.5.2 Los efectos de la corriente eléctrica en el ser humano

Al circular una corriente por el organismo, siempre se presentan en mayor o menor grado tres efectos: nervioso, químico y calorífico. Dando como resultado lesiones en el cuerpo y que se muestran a continuación:

La electrocución se produce cuando la persona fallece debido al paso de la corriente en el cuerpo. El fallecimiento es debido a la suspensión respiratoria y la paralización del corazón.

La fibrilación ventricular, que consiste en el movimiento sin control del corazón, el cual no sigue su ritmo normal y deja de enviar sangre a los distintos órganos.

La tetanización muscular es la anulación de la capacidad del control muscular, o sea, la rigidez incontrolada de los músculos.

El estado fisiopatológico de shock se presenta por efectos circulatorios y respiratorios simultáneamente.

La asfixia se produce cuando el paso de la corriente afecta al centro nervioso que regula la función respiratoria, ocasionando el paro respiratorio, por contracción del diafragma.

Las quemaduras o necrosis eléctrica se producen por la energía liberada al paso de la corriente (calentamiento por efecto Joule).

El bloqueo renal es la paralización de la acción metabólica de los riñones, producido por los efectos tóxicos de las quemaduras.

2.5.3 Factores que inciden en la gravedad de una descarga eléctrica

En cada caso de descarga eléctrica interviene una serie de factores variables con efecto aleatorio, pero los principales son: la intensidad de la corriente, resistencia del cuerpo humano, trayectoria, duración del contacto, tensión aplicada y la frecuencia de la corriente eléctrica.

2.5.4 Intensidad de la corriente

En muchas ocasiones, algunos miliamperios originan contracciones en los músculos; estas hacen que la persona no pueda soltarse de un contacto con una fuente de corriente y como las contracciones afectan por igual a los músculos de la respiración, es posible que se origine la muerte por asfixia.

El límite de desprendimiento para una persona que posee una elevada resistencia del cuerpo es de 16 mA, y de solo 8 mA, en el caso de baja resistencia del cuerpo.

Los experimentos con animales de peso similar a las personas, dan resultados confiables o por expresiones de personas expuestas a las fuentes de energía.

Cuando una persona es afectada por un arco eléctrico, el calentamiento producido por él puede llegar a quemar la ropa, formándose con esto una flama. Este efecto lo puede causar un contacto con alta tensión.

En la tabla II, se muestran los efectos provocados en el cuerpo al contacto con una fuente de energía, capaz de realizar daños permanentes o irreversibles.

Para intensidades superiores a los 10 A, el efecto de calentamiento sobre el tejido orgánico es decisivo, originándose la cocción de los líquidos de los

tejidos del cuerpo, lo cual puede conducir a la carbonización de las sustancias del mismo.

Cuadro 5: Efectos fisiológicos directos de la electricidad.

Intensidad (mA)	Contacto	Efecto
1,0	Apenas perceptible.	El paso de la corriente produce cosquilleo.No existe peligro.
5,0 o menos	Sensación de adormecimiento de las manos.	Umbral de percepción para el 50% de la población.
15 o menos	Se inicia la sensación de calambres.	Se inician las convulsiones. La persona puede aún soltar voluntariamente la fuente de
Entre 15 y 25	El cuerpo convulsiona sin control.	La persona no puede soltar voluntariamente la fuente de energía. "Límite de
Entre 25 y 80	Soportable, pero se presentan irregularidades en el movimiento del corazón.	Períodos de paro con reinicios de su actividad. Cuando la corriente fluye por el corazón.
Entre 50 y 80	Inicio de la fibrilación en el corazón.	Al interrumpirse el bombeo, la sangre deja de circular originando la pérdida de conocimiento.
80 mA y 3 A	Se establece plenamente la fibrilación del corazón.	Se presenta la muerte, cuando la fibrilación de la cámara del corazón dura más de 0,30 segundos.
Entre 3 y 10 A	Pérdida del conocimiento.	El paro pulmonar conduce a la muerte inmediata

Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

2.5.5 Resistencia eléctrica del cuerpo humano

Los resultados de una larga serie de experimentos realizados por investigadores de diferentes nacionalidades sobre que la resistencia del cuerpo humano en un grupo de individuos, revelan que hay personas con valores de resistencia de cien mil Ohm y otras con resistencia menor a los mil. La resistencia del cuerpo está muy relacionado con la condición física de la persona, es decir si esta se encuentra seca, húmeda o mojada.

La resistencia varía de acuerdo con el modo o circunstancia del contacto, según las condiciones físicas del contacto (piel normal, piel lacerada). También

la resistencia cambia en función de la clase de corriente aplicada. Todas esas variedades que influyen en la resistencia del cuerpo humano, imposibilitan la determinación exacta de un valor.

Experimentalmente, la resistencia del cuerpo humano, se mide entre las dos manos sumergidas en una solución salina, que sujetan dos electrodos y una placa de cobre sobre la que se deberá parar. Según el Dr. Charles Dalziel y la estimación de la Guía IEEE-80, la resistencia del cuerpo humano se toma como mil Ohm.

2.6 HIPÓTESIS

2.6.1 Hipótesis General

Mediante la “Evaluación del comportamiento de las puestas a tierra tratados con cemento conductor para la Red de Datos de las Instituciones Educativas de La Región Puno”, se podrá comprobar su efectividad en la protección y seguridad de los equipos y personas

2.6.2 Hipótesis Específicas

- a) El diagnóstico del comportamiento de los pozos a tierra que fueron tratados con cemento conductor de las redes de datos de las instituciones educativas, permitirá comprobar si cumple con los valores establecidos.
- b) Se Analizara la efectividad del tratamiento con cemento conductor de los pozos a tierra.
- c) Se verificara que el sistema de puesta a tierra tratado con cemento conductor, cumpla con la seguridad de protección tanto del personal técnico como de los equipos electrónicos y este de acuerdo a la normativa vigente.

2.7 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

2.7.1 TIPO METODOLÓGICO

El método de investigación en cada objetivo específico es del tipo no experimental, transversal, descriptivo. La toma de datos es del tipo longitudinal, Correlacional, causal, propuesto por Hernández Sampieri en Metodología de la Investigación. (SIAMPERI, 2014)

El presente estudio corresponde a una investigación de campo, dentro del área de las ciencias físicas y formales en el campo de la protección. Se trata de una investigación del nivel explicativo, exploratoria descriptiva.

2.7.2 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

Aplicaremos la técnica de observación documental a través de documentos estadísticos como instrumentos.

2.7.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para éste trabajo de Investigación se describe las técnicas e instrumentos de recolección de datos en el siguiente detalle:

2.7.4 TÉCNICAS

a) ANÁLISIS DOCUMENTAL

Mediante el cual se recopilará datos e información necesaria para desarrollar y sustentar éste estudio. Básicamente como su nombre lo indica a través del análisis de documentos existentes.

Se utilizara como fuente los datos, libros, informes, separatas, páginas de internet, etc., referente a temas relacionados con la investigación.

b) ENCUESTA

Mediante esta técnica se lograra obtener información directamente desde la muestra. Es un proceso a través del cual conseguiremos datos de información primaria que nos permitan explicar el problema y lograr los objetivos de la investigación mediante preguntas al personal de mantenimiento.

c) OBSERVACIÓN

La forma obvia de recopilar datos nuevos es observar el comportamiento, bien sea en un ambiente o escenario de acción donde se logre ver los desgastes de cada accesorio del equipo. La ventaja de observar directamente el comportamiento de las puestas a tierra tratados con cemento conductor es que podemos evaluar su eficacia en la protección.

d) INTERNET

No existe duda sobre las posibilidades que hoy ofrece internet como una técnica de obtener información; es más, hoy se ha convertido en uno de los principales medios para captar información. Por lo tanto se investigó temas relacionados con comportamiento de las puestas a tierra tratados con cemento conductor.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

El método de investigación en cada objetivo específico es del tipo no experimental, transversal, descriptivo. La toma de datos es del tipo longitudinal, Correlacional, causal, propuesto por Hernández Sampieri en Metodología de la Investigación.

En ese sentido el presente proyecto, es una investigación de campo de tipo descriptiva, por ser flexible permite sujetarse a esquemas de razonamiento lógico, es decir permite hacer análisis sistemático del problema, con el propósito de describir, explicar sus causas y efectos, entender su naturaleza y factores constituyentes o predecir su ocurrencia. Los datos de interés son recogidos en forma directa por el propio investigador.

La investigación descriptiva es aquella que se orientan a recolectar informaciones relacionadas con el estado real de las personas, objetos, situaciones o fenómenos, tal cual como se presentaron en su momento de recolección. (Chavez, 2004).

La investigación objeto de estudio se clasificó como descriptiva, debido a que buscó especificar propiedades, características y rangos importantes del fenómeno analizado, en este caso, de la variable estudiada: gestión de mantenimiento. (Sampieri, 1991)

3.1.2. Técnicas de recolección de datos

Son los documentos soporte para registrar la información recolectada. Dependiendo de la técnica empleada se usará uno u otro instrumento. Permiten hacer un mejor análisis de la información con fines estadísticos o para tomar decisiones. (Lizarazo, 2010)

Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso de que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. Dentro de cada instrumento pueden distinguirse dos aspectos: La forma: se refiere a las técnicas que utilizamos para la tarea de aproximación a la realidad (observación, entrevista, encuesta, entre otras). El contenido: queda expresado en la especificación de los datos que necesitamos conseguir. Se concreta en una serie de ítems que no son otra cosa que los indicadores que permiten medir a las variables, pero que asumen ahora la forma de preguntas, puntos a observar, elementos para registrar. (Reyes, 2005)

Cuando se ha ideado la encuesta poblacional o instrumento, se ha llegado al nivel de desarrollo del proyecto de investigación donde se deben señalar y precisar de manera clara y desde la perspectiva metodológica, cuales son aquellos métodos, instrumentos y técnicas de recolección de información considerando las particularidades y límite de cada uno de estos, más apropiados, atendiendo a las interrogantes planteadas en la investigación y a las características del hecho estudiado, que en su conjunto nos permitirá obtener y recopilar los datos que estamos buscando. (Reyes, 2005).

Los instrumentos de investigación y recolección de datos son los medios utilizados por el investigador, para medir el comportamiento o atributos de las variables. (Chavez, 2004)

Para la recolección de información se utilizaran las técnicas:

- ✓ Observaciones directas.
- ✓ Mediciones de datos.

Se observó el funcionamiento del comportamiento de los sistemas de puesta a tierra tratados con cemento conductor. Otra de las técnicas de recolección de información a utilizar para esta investigación es la aplicación teórica para comprobar la resistividad de la tierra.

3.1.3. Técnicas de análisis de datos

Las técnicas que se aplicarán son de dos tipos, las de campo; debido a que se requiere acumular información primaria para después analizar y cuantificarla, y las bibliográficas; para obtener información de documentos y libros referentes al tema. Además se usará información proveniente del Internet para tener conocimiento de los últimos adelantos técnicos en este campo.

Los datos obtenidos en el proceso de investigación son analizados y mostrados en las gráficas, para la mejor visualización, comprensión y así poder elaborar las posibles conclusiones y recomendaciones.

3.1.4. Método de la investigación.

La metodología utilizada para la investigación del Evaluación del comportamiento de las puestas a tierra tratados con cemento conductor para la Red de Datos de las Instituciones Educativas de La Región Puno, consta fundamentalmente de los siguientes pasos:

3.1.5. Unidades de información

La unidad de observación, es aquella por medio de la cual se obtiene la información; es decir, es la unidad informante. “la unidad de investigación es aquella que contiene elementos que van a ser estudiados”. Para dar respuesta a la unidad de investigación y cumplir con los objetivos. (Parra, 1998)

Se contó con la participación de los, supervisores, jefes de unidad y personal técnico pertenecientes a la población objeto de estudio, cumpliendo los propósitos específicos de la investigación en la población, tal y como se observa en la tabla. Cabe destacar que todo este personal es experto en lo que se refiere a la evaluación del comportamiento de las puestas a tierra tratados con cemento conductor para la Red de Datos de las Instituciones Educativas de La Región Puno.

3.1.6. Diagnóstico del comportamiento de los pozos a tierra

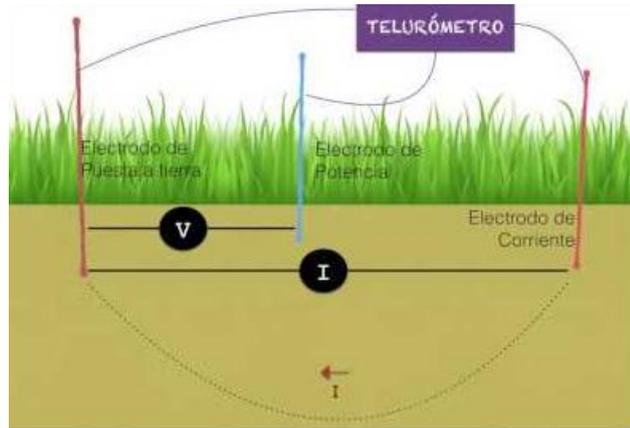
Para realizar el diagnóstico de la situación actual se realiza a través del análisis del factor de estado con lo cual podremos determinar la medida de la Resistencia de Puesta a Tierra consiste en hallar la Resistencia Eléctrica del suelo que rodea al armado de electrodos enterrados, dado que dicha

porción de suelo es atravesado por las líneas de corriente que se dispersan para dirigirse a la fuente o que se concentran al llegar de retorno a la fuente. Como se sabe, toda Resistencia Eléctrica tiene dos bornes de conexión por donde se le mide; en el caso de la Puesta a Tierra una mecha cualquiera que emerge del armado de electrodos es uno de dichos bornes, mientras que el otro borne es el extremo no directamente accesible que llega al plano equipotencial ($V=0$) de la “Tierra Remota” y que por tanto se confunde con cualquiera de sus puntos más próximos a la instalación, que cumplen con tener ($V=0$), cuando circula una corriente que se inyecta por el borne accesible.

3.1.7. Aplicación del Principio de Caída de Potencial

El método de Caída de Potencial resuelve el problema de ubicar sobre la superficie del suelo, un punto representativo del segundo borne de la Puesta a Tierra, al identificar la condición propia de la “Tierra Remota”, mediante un punto de potencial ($V=0$), que por definición pertenece a dicha superficie equipotencial. Al clavar en el suelo, 2 electrodos sucesivos y alineados con la Puesta a Tierra (E) que se desea medir, uno de ellos será el de Potencial (P) y el otro el de Corriente (C); el método consiste en aplicar una Corriente (I) que circule por el suelo entre (E) y (C) y retorne por un circuito aislado aéreo, y medir la diferencia de potencial que aparece entre (E) y (P), cabe anotar que se considera que los Electrodos (P) y (C) tienen idéntico radio hemisférico equivalente puntual y están a una gran distancia respecto a (E) cuyo radio hemisférico es (r_0).

Fig. 25: Circuito de medida de resistencia.

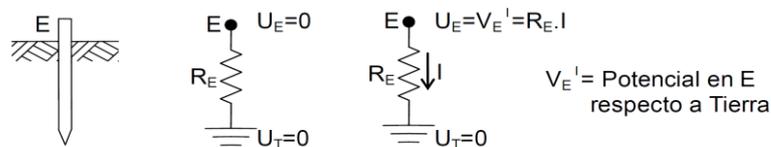


Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

3.1.8. El Circuito de Corriente de Medida

Primero representamos el electrodo de Puesta a Tierra (E) como una varilla enterrada; al hacer fluir una Corriente (I) hacia la Tierra Remota a través de (E), la Resistencia de Puesta a Tierra desde (E) a la que llamaremos (R_E) dará una diferencia de Potencial (U_E), entre el electrodo (E) y el electrodo remoto de Potencial cero (U_T).

Fig. 26: Circuito de corriente de medida



Fuente: (TOMASEVICH, 2003)

Para aplicar el método propuesto se utilizara un telurómetro de la marca TESTECH KT 480D. Para ello se ha formulado la siguiente tabla de valoración de las mediciones realizadas:

Fig. 27: Telurómetro TESTECH KT 480D.



Elaboración: Propia.

Cuadro 6: Formato de mediciones.

Item	I.E	PAT sin tratar Ω	PAT Con tratamiento Ω	Mediciones con Cemento conductivo (Ω)		
				R1	R2	R3
1	AGROPECUARIO					
2	HUATASANI					
3	LEONCIO PRADO					
4	JOSE MARIA ARGUEDAS					
5	JORGE BASADRE					
6	MIGUEL GRAU					
7	JOSE ANTONIO ENCINAS					
8	AGROPECUARIO LARIMAYO					
9	SIMON BOLIVAR					
10	JORGE BASADRE GROHMANN					
11	CARLOS OQUENDO DE AMAT					
12	QUILCAPUNCU					
13	EL CENTENARIO					
14	JANANSAYA					
15	JOSE CARLOS MARIATEGUI					
16	SIMON BOLIVAR					

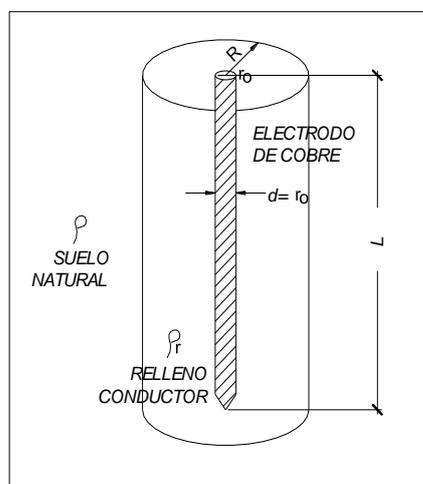
Elaboración: Propia.

3.1.9. Efectividad del tratamiento con cemento conductivo

Para realizar el análisis de la efectividad del tratamiento de los pozos a tierra se realizó medidas mediante el método de la caída de potencial descrito anteriormente.

Determinar la medida de la Resistencia de Puesta a Tierra consiste en hallar la Resistencia Eléctrica del suelo que rodea al armado de electrodos enterrados y cubiertos con el cemento conductivos, dado que dicha porción de suelo es atravesado por las líneas de corriente que se dispersan para dirigirse a la fuente o que se concentran al llegar de retorno a la fuente Como se sabe, toda Resistencia Eléctrica tiene dos bornes de conexión por donde se le mide.

Fig. 28: Esquema de tratamiento con cemento conductivo.



Fuente: (TOMASEVICH, 2003).

Estos resultados serán analizados, comparados en condiciones del terreno sin tratar con cemento conductivo y luego con el tratamiento con cemento conductivo para poder comprobar la efectividad de este último y serán mostrados en la tabla como se muestra a continuación.

Cálculo de puesta a tierra

Datos del terreno:

Resistividad promedio 300 Ω -m (terreno tipo SP)

Para el cálculo de la puesta a tierra, se ha considerado, una resistencia máxima de puesta a tierra de 05 Ohmios (con la implementación de un pozo construido con cemento conductivo), y se considera la siguiente formula:

$$R_r = \frac{\rho_r}{2\pi L} \ln \frac{D}{d} + \frac{\rho}{12\pi} \ln \frac{4L}{D} \quad \dots(\text{Ecu.31})$$

Dónde:

R_r , resistencia de la puesta a tierra (Ω)

ρ_r , resistividad del relleno (Ω -m)

ρ , resistividad de diseño (Ω -m)

L , longitud del electrodo (m)

d , diámetro del electrodo (m)

D , diámetro del pozo (m)

Siendo necesario obtener los 5 Ω , el terreno de alta resistividad se reducirá parcialmente realizando el zarandeo de la tierra, desechando las piedras contenidas y ejecutando el tratamiento con cemento conductivo, logrando reducir, según experiencias la resistividad del terreno.

Cuadro 7: Formato de mediciones inicial y con tratamiento.

Item	I.E	Resistencia del terreno sin tratar (Ω)			Resistencia del terreno tratado (Ω)			Mediciones con Cemento conductivo (Ω)		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
1	AGROPECUARIO									
2	HUATASANI									
3	LEONCIO PRADO									
4	JOSE MARIA ARGUEDAS									
5	JORGE BASADRE									
6	MIGUEL GRAU									
7	JOSE ANTONIO ENCINAS									
8	AGROPECUARIO LARIMAYO									
9	SIMON BOLIVAR									
10	JORGE BASADRE GROHMANN									
11	CARLOS OQUENDO DE AMAT									
12	QUILCAPUNCU									
13	EL CENTENARIO									
14	JANANSAYA									
15	JOSE CARLOS MARIATEGUI									
16	SIMON BOLIVAR									

Elaboración: Propia.

3.1.10. Cumplimiento de la normativa vigente del SPT

Para verificar que el sistema de puesta a tierra tratado con cemento conductivo, cumpla con la seguridad de protección tanto del personal técnico como de los equipos electrónicos y este de acuerdo a la normativa vigente. Los resultados se comparan con los valores que están dados como mínimos tanto para la protección de las personas como para la protección de los equipos y los que se encuentran vigentes en el Perú.

El Código Nacional De Electricidad Utilización menciona en la sección 060-712 Resistencia de Electroodos, lo siguiente:

El valor de la resistencia de la puesta a tierra debe ser tal que, cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a las permitidas y no debe ser mayor a 25Ω . Cuando un electrodo simple, consistente en una varilla, tubería o placa, tenga una resistencia a tierra mayor de 25Ω , es necesario instalar un electrodo adicional a una distancia de por lo menos 2 m, o a una distancia equivalente a la longitud del electrodo; o se debe emplear cualquier otro método alternativo.

La regla 036.D. Sistemas con sólo una puesta a tierra (puesta a tierra en un punto o delta), de Código Nacional De Electricidad Suministro menciona lo siguiente:

La puesta a tierra con un solo electrodo deberá tener una resistencia a tierra que no exceda 25 ohms. Si la resistencia con un solo electrodo excede 25 ohms, deberán utilizarse otros métodos de puesta a tierra que permitan cumplir con este requerimiento.

Cuando tenga que disminuirse la resistencia de puesta a tierra se podrá usar otros métodos, como puede ser el empleo de tratamiento químico o suelos artificiales, que deberán ser aceptables y certificados por una entidad especializada e imparcial competente, asegurándose que dicho tratamiento no atenten contra el medio ambiente.

La Guía Técnica para el mantenimiento del pozo de puesta a tierra en los establecimientos de salud N° 051-2015/ MINSA del 30.01.2015, establece unos valores comparativos a tomar en cuenta:

Cuadro 8: Valores Solicitados.

ZONA	VALOR
Centros de cómputo	5 Ω.
Sistemas informáticos y de comunicación	5 Ω.

Fuente: (ZABALA, 2013).

3.1.1. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Con el fin de lograr los objetivos planteados se llegan a elegir las siguientes técnicas e instrumentos:

Cuadro 9: Técnicas e Instrumentos.

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Medición - Permite identificar y evaluar datos reales	a- Medida de la resistencia. b- Variación de la resistividad

Elaboración: Propia.

3.1.2. Recolección de Información Para la Investigación

La información necesaria para el trabajo de Investigación se recopiló en bibliotecas especializadas, Internet, consulta a ingenieros especialistas (Mecánicos-Electricistas, Mecánicos, Industriales) instituciones, principalmente de la Universidad Nacional del Altiplano de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica del área de electricidad, universidades y centros de investigación a nivel nacional e internacional que puedan contribuir al desarrollo óptimo del proyecto de Tesis.

3.1.3. Procesamiento de Datos

Teniendo en cuenta que se tendrán varios parámetros de diseño, su procesamiento implicará un análisis multivariado, que nos permitirá analizar las relaciones entre variables independientes y dependientes.

3.1.4. Variables

Independientes:

Evaluación del Pozo a tierra.

Dependientes:

Tratamiento del Pozo a tierra.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DIAGNÓSTICO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS POZOS A TIERRA.

En el presente capítulo se interpreta y analizan los datos obtenidos a partir de fuentes de información que se mencionaron en el capítulo anterior, de tal forma de extraer significados relevantes con relación al problema de investigación y dar respuestas a los objetivos planteados, en relación a las dimensiones en las cuales se descompone la variable operacional Gestión de Mantenimiento.

4.2 DIAGNÓSTICO DE LOS POZOS A TIERRA

El resultado del diagnóstico del comportamiento de los pozos a tierra tubo dos etapas la primera eta es sin efectuar el tratamiento con el cemento conductivo es decir aun cuando no ha fraguado.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Cuadro 10: Valores iniciales.

Item	I.E	Provincia	Distrito	Resistencia del SPAT (Ω)		
				R1	R2	R3
1	AGROPECUARIO	AZANGARO	AZANGARO	56.58	55.45	54.32
2	HUATASANI	HUANCANE	HUATASANI	67.98	57.86	47.74
3	LEONCIO PRADO	HUANCANE	TARACO	57.86	56.43	55.00
4	JOSE MARIA ARGUEDAS	MELGAR	LLALLI	67.34	75.32	83.30
5	JORGE BASADRE	MELGAR	ORURILLO	67.98	55.99	62.56
6	MIGUEL GRAU	MELGAR	LLALLI	71.08	76.34	68.34
7	JOSE ANTONIO ENCINAS	AZANGARO	ASILLO	95.87	87.68	79.49
8	AGROPECUARIO LARIMAYO	MELGAR	ANTAUTA	88.41	75.67	79.45
9	SIMON BOLIVAR	SANDIA	DRO DE PUTINA	93.20	83.94	78.98
10	JORGE BASADRE GROHMANN	SANDIA	ALTO INAMBARI	98.00	75.34	78.32
11	CARLOS OQUENDO DE AMAT	SANDIA	CUYOCUYO	56.45	43.21	56.89
12	QUILCAPUNCU	ANTONIO DE PU	QUILCAPUNCU	24.34	19.34	23.67
13	EL CENTENARIO	ANTONIO DE PU	PUTINA	34.15	25.43	30.67
14	JANANSAYA	ANTONIO DE PU	QUILCAPUNCU	25.55	19.94	23.41
15	JOSE CARLOS MARIATEGUI	MELGAR	ORURILLO	34.12	34.23	34.34
16	SIMON BOLIVAR	AZANGARO	MINGO CHOQUE	126.75	98.45	123.56

Elaboración: Propia.

Del análisis estadístico realizado podemos determinar lo siguiente:

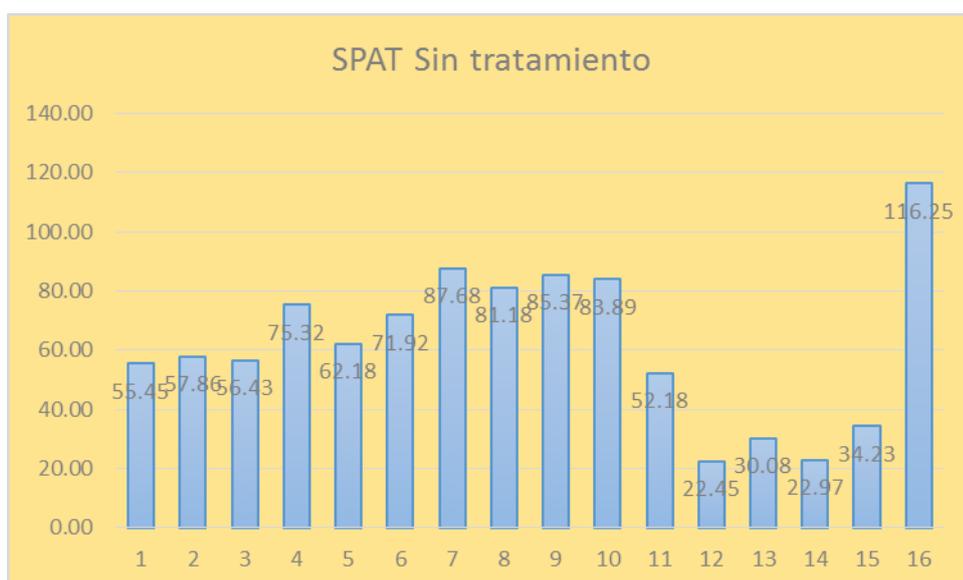
Cuadro 11: Resultados del cuadro 10.

N° de Datos	48.00
Mínimo	19.34
Máximo	126.75
Media	62.22
Mediana	60.21
Moda	67.98

Elaboración: Propia.

De un total de 48 mediciones realizadas al principio antes del fraguado del cemento conductor se tuvo un valor máximo de 126 ohmios y un valor mínimo de 19 ohmios con una media de 62 ohmios, lo que correspondería a que la mayoría de los pozos no cumplieran con la normatividad vigente es decir con los 25 ohmios.

Grafico 1: Diagrama de Pareto valores iniciales.



Elaboración: Propia.

Posterior al el tratamiento de los pozos a tierra con cemento conductor transcurrido un aproximado de 30 días se ha realizado las mediciones de los sistemas de puesta a tierra (SPAT), y se ha obtenido los valores que se muestran a continuación:

Cuadro 12: Valores finales después del tratamiento.

Item	I.E	Provincia	Distrito	C.P	Mediciones		
					1°	2°	3°
1	AGROPECUARIO	AZANGARO	AZANGARO	MORORCCO	6.02 Ω	5.88 Ω	5.86 Ω
2	HUATASANI	HUANCANE	HUATASANI	HUATASANI	3.16 Ω	3.37 Ω	3.16 Ω
3	LEONCIO PRADO	HUANCANE	TARACO	RAMIS	3.65 Ω	4.12 Ω	1.70 Ω
4	JOSE MARIA ARGUEDAS	MELGAR	LLALLI	LLALLI ANTIGUO	7.07 Ω	5.53 Ω	7.23 Ω
5	JORGE BASADRE	MELGAR	ORURILLO	QUESANI/CHOSE	6.83 Ω	5.69 Ω	5.28 Ω
6	MIGUEL GRAU	MELGAR	LLALLI	LLALI	5.06 Ω	3.59 Ω	7.08 Ω
7	JOSE ANTONIO ENCINAS	AZANGARO	ASILLO	PROGRESO	5.63 Ω	3.05 Ω	1.21 Ω
8	AGROPECUARIO LARIMAYO	MELGAR	ANTAUTA	LARIMAYO	7.71 Ω	6.38 Ω	4.94 Ω
9	SIMON BOLIVAR	SANDIA	DRO DE PUTINA	DRO DE PUTINA	5.04 Ω	5.50 Ω	5.49 Ω
10	JORGE BASADRE GROHMANN	SANDIA	ALTO INAMBAR	MASSIAPO	5.80 Ω	5.79 Ω	4.03 Ω
11	CARLOS OQUENDO DE AMAR	SANDIA	CUYOCUYO	CUYOCUYO	6.62 Ω	5.02 Ω	2.84 Ω
12	QUILCAPUNCU	ANTONIO DE PU	QUILCAPUNCU	QUILCAPUNCU	1.17 Ω	0.29 Ω	1.88 Ω
13	EL CENTENARIO	ANTONIO DE PU	PUTINA	SANTIAGO LUJAN	4.50 Ω	3.88 Ω	5.50 Ω
14	JANANSAYA	ANTONIO DE PU	QUILCAPUNCU	JANANSAYA	3.15 Ω	6.13 Ω	1.33 Ω
15	JOSE CARLOS MARIATEGUI	MELGAR	ORURILLO	URILLO/CARA CA	3.65 Ω	4.12 Ω	1.70 Ω
16	SIMON BOLIVAR	AZANGARO	MINGO CHOQUI	PROGRESO	7.25 Ω	7.14 Ω	5.26 Ω

Elaboración: Propia.

Del análisis estadístico realizado podemos determinar lo siguiente:

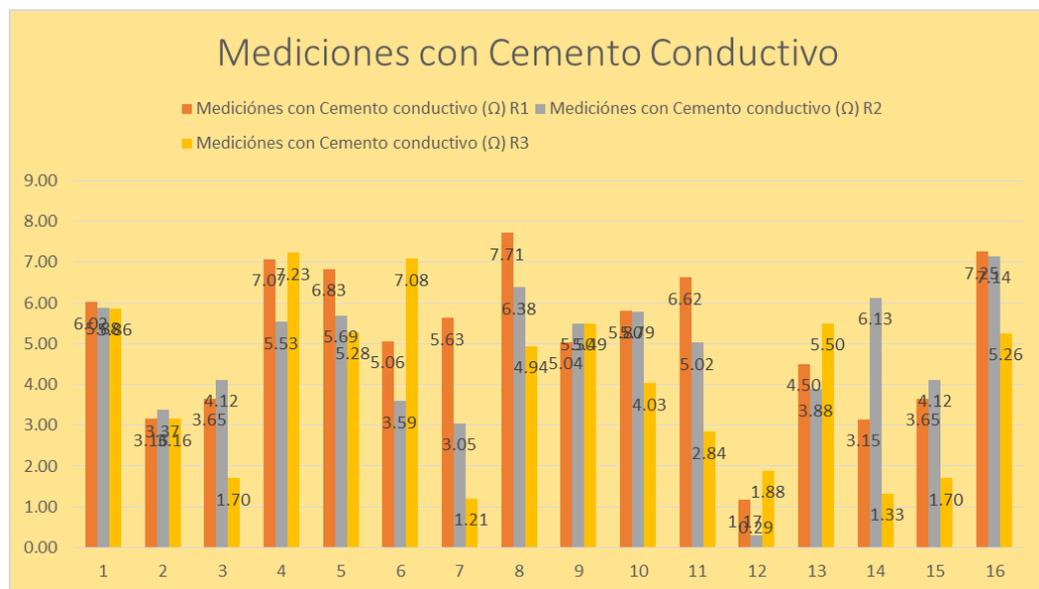
Cuadro 13: Resultados del cuadro 12.

N° de Datos	48.00
Mínimo	0.29
Máximo	7.71
Media	4.63
Mediana	5.05
Moda	3.16

Elaboración: Propia.

De un total de 48 mediciones realizadas después del fraguado del cemento conductor se tuvo un valor máximo de 7.71 ohmios y un valor mínimo de 0.29 ohmios con una media de 4.63 ohmios, lo que correspondería a que todos los pozos cumplieran con la normatividad vigente es decir con los 25 ohmios.

Grafico 2: *Diagrama de Pareto valores con tratamiento.*



Fuente: Elaboración Propia.

4.3 EFECTIVIDAD DEL TRATAMIENTO

Se realizó el análisis de la efectividad de los pozos a tierra tratados con cemento conductor después del periodo de fragua este se comparó con los valores iniciales es decir los valores obtenidos antes de que el cemento conductor este consolidado los valores obtenidos se muestra en la tabla:

Cuadro 14: Efectividad del cemento conductivo.

Item	I.E	Resistencia del terreno tratado (Ω)			PROMEDIO SPAT INICIAL Ω	Mediciones con Cemento conductivo (Ω)			PROMEDIO SPAT CON CEMENTO Ω	% de reduccion
		R1	R2	R3		R1	R2	R3		
1	AGROPECUARIO	56.58	55.45	54.32	55.45	6.02	5.88	5.86	5.92	89%
2	HUATASANI	67.98	57.86	47.74	57.86	3.16	3.37	3.16	3.23	94%
3	LEONCIO PRADO	57.86	56.43	55.00	56.43	3.65	4.12	1.7	3.16	94%
4	JOSE MARIA ARGUEDAS	67.34	75.32	83.30	75.32	7.07	5.53	7.23	6.61	91%
5	JORGE BASADRE	67.98	55.99	62.56	62.18	6.83	5.69	5.28	5.93	90%
6	MIGUEL GRAU	71.08	76.34	68.34	71.92	5.06	3.59	7.08	5.24	93%
7	JOSE ANTONIO ENCINAS	95.87	87.68	79.49	87.68	5.63	3.05	1.21	3.30	96%
8	AGROPECUARIO LARIMAYO	88.41	75.67	79.45	81.18	7.71	6.38	4.94	6.34	92%
9	SIMON BOLIVAR	93.20	83.94	78.98	85.37	5.04	5.5	5.49	5.34	94%
10	JORGE BASADRE GROHMANN	98.00	75.34	78.32	83.89	5.8	5.79	4.03	5.21	94%
11	CARLOS OQUENDO DE AMAT	56.45	43.21	56.89	52.18	6.62	5.02	2.84	4.83	91%
12	QUILCAPUNCU	24.34	19.34	23.67	22.45	1.17	0.29	1.88	1.11	95%
13	EL CENTENARIO	34.15	25.43	30.67	30.08	4.5	3.88	5.5	4.63	85%
14	JANANSAYA	25.55	19.94	23.41	22.97	3.15	6.13	1.33	3.54	85%
15	JOSE CARLOS MARIA TEGUI	34.12	34.23	34.34	34.23	3.65	4.12	1.7	3.16	91%
16	SIMON BOLIVAR	126.75	98.45	123.56	116.25	7.25	7.14	5.26	6.55	94%

Elaboración: Propia.

De los resultados obtenidos podemos deducir que la efectividad del cemento conductivo a través del análisis estadístico lo siguiente:

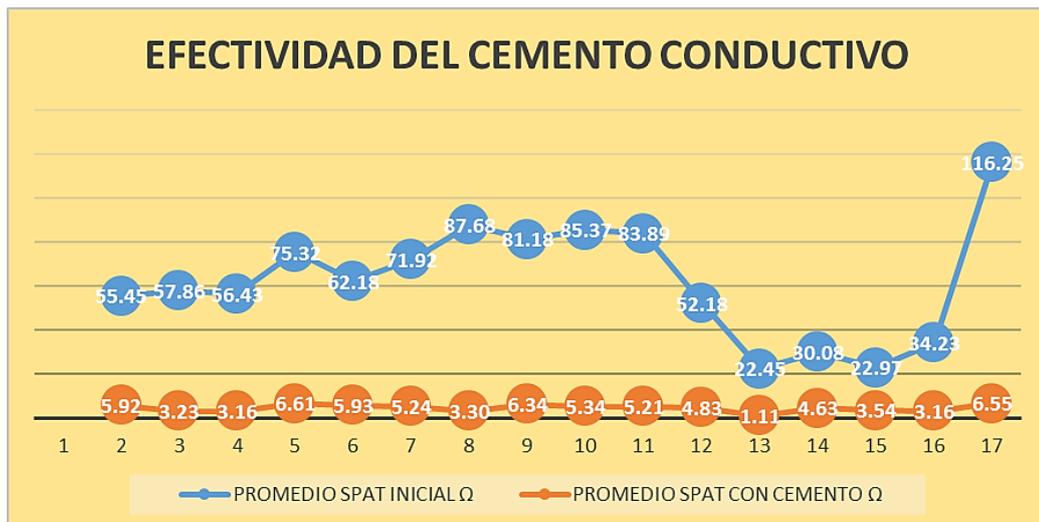
Cuadro 15: Resultados del cuadro 14.

N° de Datos	16
Mínimo	85%
Máximo	96%
Media	92%
Mediana	92%

Elaboración: Propia.

Se tiene una reducción promedio de la resistencia de los pozos a tierra del 92%, este valor nos indica también la efectividad del pozo a tierra.

Grafico 3: Diagrama de Efectividad del tratamiento.



Elaboración: Propia.

4.4 CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA VIGENTE

Se ha verificado que el sistema de puesta a tierra tratado con cemento conductor, cumple con la seguridad de protección tanto del personal técnico como de los equipos electrónicos y este de acuerdo a la normativa vigente. Los resultados se compararon con los valores que están dados como mínimos tanto para la protección de las personas como para la protección de los equipos y los que se encuentran vigentes en el Perú.

El Código Nacional De Electricidad Utilización menciona en la sección 060-712 Resistencia de Electrodo, lo siguiente:

El valor de la resistencia de la puesta a tierra debe ser tal que, cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a las permitidas y no debe ser mayor a 25 Ω. Cuando un electrodo simple, consistente en una varilla, tubería o placa, tenga una resistencia a tierra mayor de 25 Ω, es necesario instalar un electrodo adicional a una distancia de por lo menos 2

m, o a una distancia equivalente a la longitud del electrodo; o se debe emplear cualquier otro método alternativo.

La regla 036.D. Sistemas con sólo una puesta a tierra (puesta a tierra en un punto o delta), de Código Nacional De Electricidad Suministro menciona lo siguiente:

La puesta a tierra con un solo electrodo deberá tener una resistencia a tierra que no exceda 25 ohms. Si la resistencia con un solo electrodo excede 25 ohms, deberán utilizarse otros métodos de puesta a tierra que permitan cumplir con este requerimiento.

Cuando tenga que disminuirse la resistencia de puesta a tierra se podrá usar otros métodos, como puede ser el empleo de tratamiento químico o suelos artificiales, que deberán ser aceptables y certificados por una entidad especializada e imparcial competente, asegurándose que dicho tratamiento no atenten contra el medio ambiente.

La Guía Técnica para el mantenimiento del pozo de puesta a tierra en los establecimientos de salud N° 051-2015/ MINSA del 30.01.2015, establece unos valores comparativos a tomar en cuenta:

Cuadro 16: Valores Máximos Permisibles para SPAT.

ZONA	VALOR
Centros de cómputo	5 Ω .
Sistemas informáticos y de comunicación	5 Ω .

Fuente: Elaboración Propia.

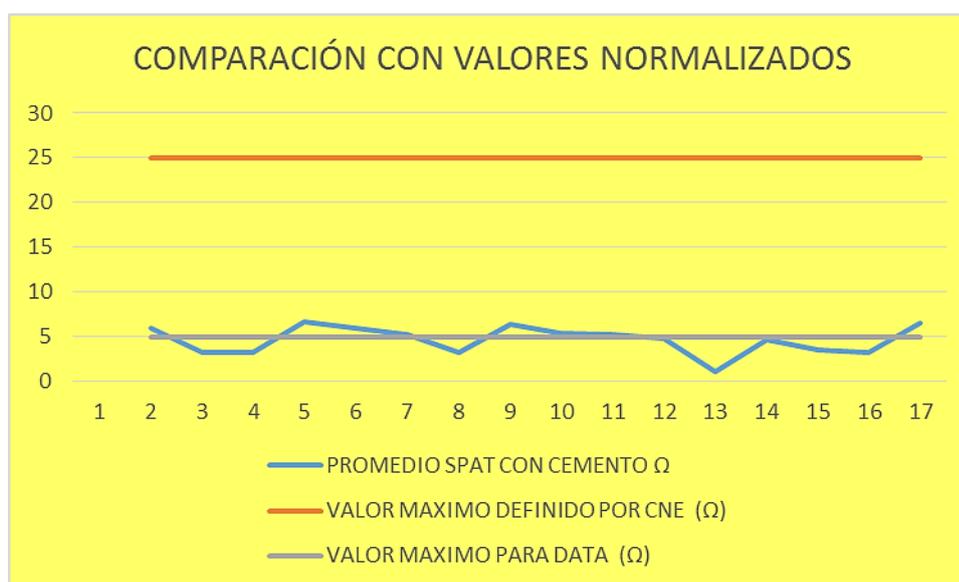
Con los resultados correspondientes comprobamos que el sistema de puesta a tierra tratado con cemento conductor cumple con lo especificado en las normas mencionadas en los párrafos anteriores.

Cuadro 17: Comparación de valores cumplimiento de las Normas.

Item	I.E	Provincia	Distrito	C.P	PROMEDIO SPAT CON CEMENTO Ω	VALOR MAXIMO DEFINIDO POR CNE (Ω)	VALOR MAXIMO PARA DATA (Ω)
1	AGROPECUARIO	AZANGARO	AZANGARO	MOROCCO	5.92	25	5
2	HUATASANI	HUANCANE	HUATASANI	HUATASANI	3.23	25	5
3	LEONCIO PRADO	HUANCANE	TARACO	RAMIS	3.16	25	5
4	JOSE MARIA ARGUEDAS	MELGAR	LLALLI	LLALLI ANTIGUO	6.61	25	5
5	JORGE BASADRE	MELGAR	ORURILLO	CHOQUESANI/CHOSECANI	5.93	25	5
6	MIGUEL GRAU	MELGAR	LLALLI	LLALI	5.24	25	5
7	JOSE ANTONIO ENCINAS	AZANGARO	ASILLO	PROGRESO	3.30	25	5
8	AGROPECUARIO LARIMAYO	MELGAR	ANTAUTA	LARIMAYO	6.34	25	5
9	SIMON BOLIVAR	SANDIA	SAN PEDRO DE PUTINA PUNCO	SAN PEDRO DE PUTINA PUNCU	5.34	25	5
10	JORGE BASADRE GROHMANN	SANDIA	ALTO INAMBARI	MASSIAPO	5.21	25	5
11	CARLOS OQUENDO DE AMAT	SANDIA	CUYOCUYO	CUYOCUYO	4.83	25	5
12	QUILCA PUNCU	SAN ANTONIO DE PUTINA	QUILCA PUNCU	QUILCA PUNCU	1.11	25	5
13	EL CENTENARIO	SAN ANTONIO DE PUTINA	PUTINA	SANTIAGO LUJAN	4.63	25	5
14	JANANSAYA	SAN ANTONIO DE PUTINA	QUILCA PUNCU	JANANSAYA	3.54	25	5
15	JOSE CARLOS MARIA TEGUI	MELGAR	ORURILLO	ORURILLO/CARA CARA	3.16	25	5
16	SIMON BOLIVAR	AZANGARO	JOSE DOMINGO CHOQUEHUANC	PROGRESO	6.55	25	5

Elaboración: Propia.

Grafico 4: Comparación de valores Normalizados.



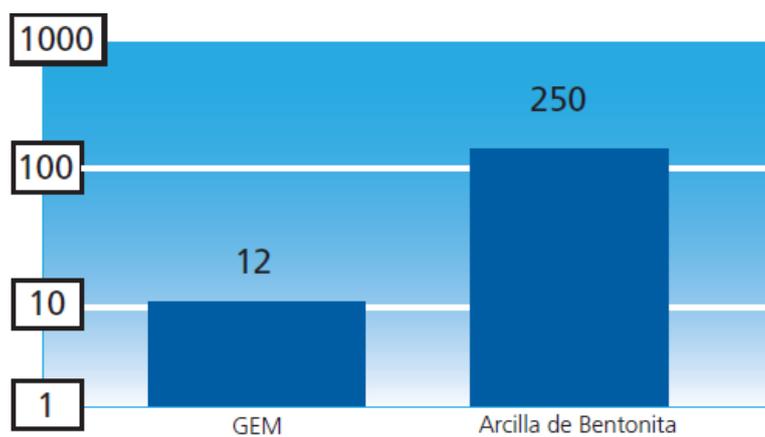
Elaboración: Propia.

Como discusión a esta investigación podemos mencionar lo siguiente:

Con la aplicación de las correspondientes dosificaciones de gel al terreno para disminuir su resistividad, a lo largo de este estudio y mediante la práctica constructiva, se comprobó que influye de manera notable y positiva en los resultados finales ya que se obtiene una disminución del 60% de la resistencia de puesta a tierra final, con respecto al mismo caso pero con el terreno no tratado químicamente, propuesta por PABLO MAURICIO GÓMEZ AGUILAR de Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil Facultad De Ingenierías Carrera de Ingeniería Eléctrica en su tesis “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PUESTAS A TIERRA PARA EL COLEGIO TECNICO INDUSTRIAL GUALACEO, BASADO EN LAS RECOMENDACIONES PRACTICAS PARA EL ATERRIZAMIENTO EN SISTEMAS ELECTRICOS COMERCIALES E INDUSTRIALES DE LA IEEE” , (2010).

Un análisis técnico de la relación costo eficiencia realizada por el fabricante de cemento conductor GEM es la siguiente:

- Reduce dramáticamente la resistencia a tierra y mediciones de impedancia
- Tras la curación del material, mantiene una resistencia constante durante toda la vida útil del sistema
- Mejora la puesta a tierra en todos los suelos, incluso durante períodos secos.

Grafico 5: Valores Específicos del Cemento Conductivo.

El Cemento Conductivo GEM tiene un factor de resistividad 20 veces menor que la arcilla de bentonita.

Fuente: Rojas, G. (2008).

CONCLUSIONES

PRIMERO: Se ha realizado la Evaluación del comportamiento de las puestas a tierra tratados con cemento conductor para la Red de Datos de 16 Instituciones Educativas ubicadas en las Provincias de Azángaro, San Antonio de Putina, Huancané, Melgar y Sandia de La Región Puno, tal como se ha planteado en el objetivo de la presente tesis, lo que nos ha permitido cumplir con el desarrollo de los siguientes objetivos.

SEGUNDO: Se diagnosticó el comportamiento de los pozos a tierra que fueron tratados con cemento conductor de las redes de datos de las 16 instituciones educativas se ha realizado 3 mediciones por cada Sistema de Puesta a Tierra usando el telurómetro TESTECH KT 480D, de un total de 48 mediciones mediante el análisis estadístico se tiene un valor final con una media de 4.63 Ohm.

TERCERO: Se analizó la efectividad del tratamiento con cemento conductor de los pozos a tierra para esto se ha realizado mediciones iniciales al sistema antes de lograr el fraguado del cemento de un total de 48 mediciones en las 16 Instituciones tenemos como media un valor de 62.22 Ohmios, comparándolos con los valores después del fraguado del cemento conductor tenemos una media de 4.63 ohmios y del análisis de efectividad tenemos un porcentaje de reducción con una media del 92% lo que nos lleva a la conclusión de que si es efectivo.

CUARTO: Se verifica que el sistema de puesta a tierra tratado con cemento conductor, cumple con la seguridad de protección tanto del personal técnico como de los equipos electrónicos y este está de acuerdo a la normativa vigente. De acuerdo a lo establecido por el Código Nacional de Electricidad

Suministro y Utilización que piden valores máximos de resistencia de 25 Ohmios. Y además otras normas referentes como la del Ministerio de Salud.

RECOMENDACIONES

PRIMERO: Se debe seguir con este tipo de investigaciones relacionada con los Sistemas de Puesta a Tierra, como por ejemplo la comparación con otros tipos de tratamientos químicos para mejorar la resistencia, se puede realizar el estudio del tiempo Optimo del fraguado de los pozos a tierra tratados con cemento conductivo, el análisis de la resistividad de los terrenos también es importante para poder diseñar de mejor manera los Sistemas de Puestas a Tierra.

SEGUNDO: Continuar con la línea de investigación referente al estudio del comportamiento de los Sistemas de Puestas a Tierra.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, P. G. (2010). *Diseño y construcción de puestas a tierra para el colegio tecnico industrial gualaceo, basado en las recomendaciones practicas para el aterrizamiento en sistemas electricos comerciales e industriales de la IEEE* . CUENCA: UPS.
- BOCANCHA, W. Q. (2005). *Diseño y ejecución de una puesta a tierra de baja*. LIMA PERU: UNMSM.
- Cuenca, J. A. (2011). *Evaluacion y diagnostico de la malla de puesta a tierra de la subestacion obrapia con niveles de tension de 69 kv y 13.8 kv perteneciente a E.E.R.S.S.A, para cumplir con los parametros establecidos por la NORMA IEEE*. CUENCA ECUADOR: UPS.
- HARPER, E. (2000). *Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión* (Segunda ed.). Mexico: LIMUSA.
- Harper, E. (2011). *Manual del tecnico en subestaciones electricas. Industriales y comerciales* . (Primera Edición ed.). México: LIMUSA.
- Monroy, M. A. (2012). *Análisis del sistema de puesta a tierra de la subestación GUATEMALA ESTE*. Guatemala: USC.
- Monroy, M. A. (2012). *Análisis del sistema de puesta a tierra de la subestación GUATEMALA ESTE*. Guatemala: USCG.
- Rojas, G. (2008). *Manual de Sistemas de Puesta A Tierra* . Mexico: GEDISA.
- SIAMPERI, R. (2014). *Metodologia de la Investigacion* . Mexico, D.F.: McGRAW-HILL.

TOMASEVICH, I. Y. (2003). *MEDIDAS DE RESISTIVIDAD DEL SUELO, RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA Y POTENCIALES DE TOQUE Y PASO*. Lima Perú: UNI.

ZABALA, E. D. (2013). *Diseño del sistema de puesta a tierra de la estación repetidora el alisal para sistemas de telecomunicaciones de MOVISTAR*.

GUAYAQUIL: UTS.

ANEXOS

Anexo A. 1: Características del cemento conductor GEM25A

GEM25A

Inventado en 1992, el material de refuerzo de tierra (GEM) es un material conductor de gran calidad que resuelve los problemas más complicados de puesta a tierra. El GEM presenta una baja resistencia, no es corrosivo, está compuesto de polvo de carbón, material que mejora la eficacia del Sistema de Puesta a Tierra, especialmente en zonas en donde la conductividad es muy pobre. El GEM contiene cemento Portland, que se endurece cuando se fragua, convirtiéndose en un concreto conductor lo cual facilita que la instalación sea libre de mantenimiento y mantiene al Sistema de Puesta a Tierra con valores de resistividad bajos ya que el GEM nunca se filtra o deslava.

GEM mejora la puesta a tierra sin importar las condiciones del suelo. Es el material ideal para usar en áreas de baja conductividad, tales como suelo rocoso, climas de montañas y suelo arenoso. GEM es también la respuesta en situaciones en que no se pueden enterrar varillas a tierra, o donde las limitaciones de la superficie del suelo dificultan la puesta a tierra adecuada mediante métodos convencionales.

La conclusión es una sola. GEM es el mejor material para reducir la resistencia a tierra y mantenerla baja en forma permanente. Ningún otro material proporciona una conductividad tan alta durante la vida útil del sistema de puesta a tierra.

Las ventajas de GEM se traducen en la mejor relación costo-eficiencia.

GEM es eficaz

- Reduce dramáticamente la resistencia a tierra y mediciones de impedancia
- Tras la curación del material, mantiene una resistencia constante durante toda la vida útil del sistema
- Mejora la puesta a tierra en todos los suelos, incluso durante periodos secos

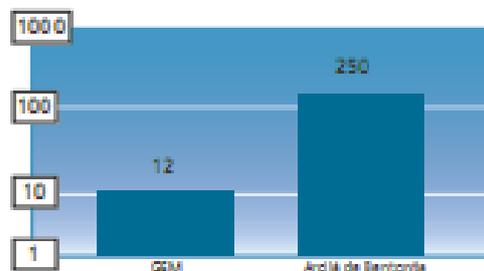
GEM es permanente

- No se disuelve ni descompone con el paso del tiempo
- No requiere tratamientos periódicos de carga ni reemplazos
- No requiere mantenimiento
- No depende de la presencia continua de agua para mantener su conductividad

GEM se usa fácilmente

- Prácticas bolsas de 25 libras (11,36 kg) fáciles de manipular
- Sólo se requiere de una persona para instalarlo
- Puede mezclarse fácilmente como lechada
- Es un CEMENTO CONDUCTIVO que se solidifica en tres días
- Evita el vandalismo, pues los electrodos y cables quedan como embebidos en "concreto" y ya no es tan fácil robarlos.

Características de Resistividad



El Cemento Conductor GEM tiene un factor de resistividad 20 veces menor que la arcilla de bentonita.

Hacer Pedidos es Fácil y Rápido

Comuníquese con su representante local de ventas ERICO® o con el Servicio al Cliente de ERICO para obtener una cotización. Solicite GEM por su número de parte: GEM25A.

Asistencia Técnica

El personal de ERICO tiene a mejor disposición para ayudarlo y para responder todas sus consultas.



Anexo A. 2: Especificaciones del cemento conductivo.

GEM25A

Programa de Diseño y Cálculo

El software de diseño estima la cantidad de material GEM necesario y la resistencia aproximada de suelo en una instalación.

Especificaciones

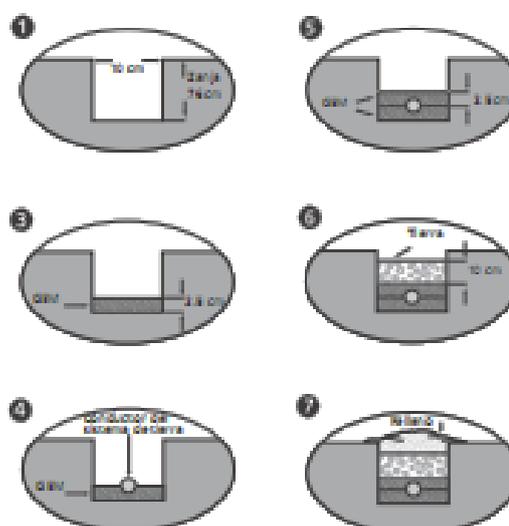
El material de refuerzo de tierra debe ser permanente, no debe requerir mantenimiento (no debe necesitar recargarse con sales ni sustancias químicas que puedan ser corrosivas) y debe conservar su resistencia a tierra con el paso del tiempo. Debe instalarse firmemente y no disolverse, descom-

ponerse ni por ningún motivo contaminar el suelo o la capa freática de la localidad. El material de refuerzo de tierra debe instalarse como lechada. No debe depender de la presencia continua de agua para mantener su conductividad. La resistencia de material curado no debe superar los 20 ohm-cm.

Instrucciones

Instalación en Zanjas:

1. Premezclar el GEM para preparar una mezcla. Utilice de 5.7 a 7.6 litros (1.5 a 2 galones) de agua potable por bolsa.
2. Para preparar el GEM en una mezcla, utilice un mezclador de concreto estándar o mezclalo en forma manual en una caja mezcladora, carretilla, etc. Utilice de 5.7 a 7.6 litros (1.5 a 2 galones) de agua potable por bolsa de GEM. No mezcle el GEM con agua salada.
3. Ronga suficiente mezcla de GEM para cubrir uniformemente el fondo de la zanja con más o menos 2.5 cm. (1 pulgada) de espesor. (ver tabla)
4. Coloque el conductor sobre el GEM. (Ver Nota 1)
5. Ronga más GEM sobre el conductor hasta cubrirlo completamente con unos 2.5 cm. (1 pulgada) de espesor. Espere a que el GEM endurezca, aproximadamente de 30 minutos a una hora, antes de poner el relleno natural de la zanja.
6. Cuidadosamente cubra el GEM con tierra hasta unos 10 cm. (4 pulgadas) de la superficie, cuidando que el conductor no quede expuesto.
7. Compacte la tierra y termine de cubrir la zanja con más tierra.



Nota 1: Espere a que el GEM endurezca, aproximadamente de 15 a 20 minutos antes de colocar el conductor. Se debe de instalar 10 cm. (4 pulgadas) de material aislante en los conductores y electrodos en la zona de interfase (aire-tiempo), empezando 5 cm. (2 pulgadas) dentro del GEM.

Nota 2: Quite el exceso de agua si lo hubiera.

Cobertura estimada del conductor en metros por cada saco de GEM.

Ancho de la Zanja (cm)	Espesores totales de GEM (cm)			
	2.5 cm	5.0 cm	7.5 cm	10.0 cm
10.0 cm	4.27 m	2.13 m	1.43 m	1.06 m
15.2 cm	2.83 m	1.43 m	0.94 m	0.70 m
20.3 cm	2.13 m	1.06 m	0.70 m	0.55 m
25.4 cm	1.70 m	0.85 m	0.57 m	0.42 m
30.5 cm	1.43 m	0.70 m	0.48 m	0.37 m

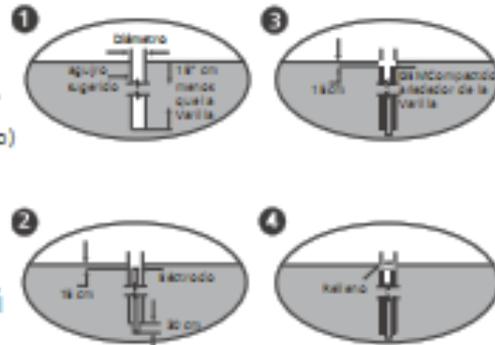
Un saco de 11.35 Kg. (25 libras) de GEM cubrirá una longitud de 2.1 m (7 pies) de conductor en una zanja de 10 cm (4 pulgadas) de ancho por 5 cm (2 pulgadas) de profundidad. Considerando 2.54 cm (1 pulgada) abajo y encima del conductor y esto con base en una densidad de 1.018 Kg./dm³. (63.5 lb/ft³).

Anexo A. 3: Instalación con electrodo vertical con GEM25A

GEM25A

Instalación con Electrodo Vertical de Tierra:

1. Perfore un agujero de 7.5 cm ó más de diámetro (3 pulgadas) y una profundidad 15 cm (6 pulgadas) menor que la longitud del electrodo.
2. Coloque el electrodo en el centro del agujero y antiémla 1 pie (30 cm). El extremo superior de la varilla quedará aproximadamente a unos 15 cm (6 pulgadas) del nivel de terreno. Haga la conexión necesaria con CADWELD®. (Ver Nota 1 Abajo)
3. Remezclar el GEM para preparar una mezcla. Utilice de 5.7 a 7.6 litros (1.5 a 2 galones) de agua potable por bolsa.
4. Vacíe la cantidad apropiada de GEM (ver tabla), alrededor del electrodo. Para asegurarse que el GEM llena completamente el agujero alrededor del electrodo, use una varilla ó una pieza de madera para compactarlo. Espere a que el GEM endurezca, aproximadamente de 30 minutos a una hora antes de poner el relleno natural del agujero.
5. Rellene la parte superior del agujero con la tierra que sacó del mismo. Para varios diámetros de agujeros, ver a tabla siguiente.



Nota 1: Se debe instalar 10 cm (4 pulgadas) de material aislante en los electodos en la zona de interfase (aire-terreno), empezando 5 cm (2 pulgadas) dentro del GEM.

Nota 2: Quite el exceso de agua si lo hubiera.

Cantidad estimada de sacos de GEM para relñar el hueco alrededor de és electodos del sistema de tierra a una densidad de 1.018 Kg /cm³ (63.5 lb/ft³).

Dia. del agujero (cm)	Profundidad del agujero (m)*						
	1.8 m	2.1 m	2.4 m	2.8 m	5.2 m	5.8 m	6.1 m
7.5	2	2	2	2	4	4	4
10.0	2	3	3	3	6	7	7
12.7	3	4	4	5	9	10	10
15.2	5	5	6	7	13	14	15
17.8	6	7	8	9	17	19	20
20.3	8	9	11	12	22	25	26
22.9	10	12	13	15	28	31	32
25.4	12	14	16	18	34	38	40

* De acuerdo a é norma NEC 250-83-C y é NOM-001-SEDE, la longitud mínima del electrodo debe ser de 2.44 m (8 pies). Nota: EICEM debe mezclarse con agua potable para facilitar su instalación. Puede hacerlo amano ó síes mucho, use una mezcladora para concreto. La proporción será de 5.7 a 7.6 litros (1.5 to 2 galones) de agua por saco. Nunca ó mezcle con agua salada. Para instrucciones de almacenamiento y seguridad, contacte ERICO®.

ADVERTENCIA

Los productos de ERICO deben instalarse y utilizarse según se indica en sus instrucciones y en el material de formación de ERICO. Tiene las instrucciones a su disposición en www.ericoinc.com, y también se le puede solicitar a su representante del servicio de atención al cliente de ERICO. Instalar inadecuadamente los productos, hacer un mal uso de ellos, aplicarlos de manera incorrecta, en general, no seguir al pie de la letra las instrucciones y advertencias de ERICO, podrá dar lugar a un funcionamiento incorrecto del producto, daños a la propiedad que sea lesionada, lesiones corporales e incluso la pérdida de vida.

GARANTÍA

Los productos de ERICO están garantizados contra defectos de material y mano de obra en el momento del envío. ERICO NO OFERTA NINGUNA OTRA GARANTÍA EXPLÍCITA O IMPLÍCITA (INCLUIDA GARANTÍA DE COMERCIALIZACIÓN O IDENTIDAD PARA UN USO PARTICULAR). EN CUANTO A LA VENTA O UTILIZACIÓN DE CUALQUIER PRODUCTO ERICO, LAS SOLUCIONES por erosión, minas, de fresas ó dispositivos que puedan producirse tras una inspección, deben efectuarse por escrito en los 30 días siguientes a la recepción de los productos por parte del comprador. Cualquier otro queja de los hechos por escrito a ERICO dentro de los 30 días tras haberse presentado a la fecha de envío o transporte. Los productos cuya distribución de defectos no sea evidente, tras el primer examen por escrito de ERICO y conforme a nuestro procedimiento de control de calidad, de volverse inmediatamente a ERICO para que ésta efectúe una inspección. Todas admistran reclamaciones que no se citan lo antes posible y antes que no se haga en el plazo de aplicación. ERICO no será responsable en ningún caso de productos que se han almacenado o utilizado conforme a sus especificaciones y procedimientos recomendados. ERICO reparará o sustituirá, a su propio costo, los productos distribuidos o defectuosos de los que sea responsable ó decidiera el importe de la compra al comprador. LO ANTERIO RESULTA CIRCUNSTANCIAS DE ERICO REPARAR O SUSTITUIR ANTES CUALQUIER INCUMPLIMIENTO DE GARANTÍA DE ERICO, CUALQUIER RECLAMACIÓN, TANTO SI DERIVA EN CONTRATO, ADMINISTRATIVO O NEGOCIACIÓN, COMO CUALQUIERA RECLAMACIÓN O DAÑO CALIFICADO POR LA VENTA O UTILIZACIÓN DE CUALQUIER PRODUCTO.

LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD

ERICO no acepta cualquier responsabilidad, salvo que sea sujeta a un acuerdo directamente a negligencia voluntaria o parte de los empleados de ERICO. Si se establece la responsabilidad de ERICO, su responsabilidad no excederá en ningún caso el precio total de compra fijado en el contrato. ERICO NO SE RESPONSABILIZA EN NINGUN CASO DE NINGUN LUCHO CIVIL O DE RESPONSABILIDAD, RECLAMACIÓN DE TIEMPO O REPARACIÓN DE DAÑOS, GASTOS DE RECONSTRUCCIÓN O DE AJUSTE DE VALORES, NI DE NINGUNA RECLAMACIÓN O DAÑO A SU REPUTACIÓN O A SU NEGOCIO.

Copyright © 2007 ERICO International Corporation. All rights reserved.

ERICO, ERICO LOGO, ERICO, ERIPLEX, ERITRICH, and ERITRICH are registered trademarks of ERICO International Corporation.

www.ericoinc.com



Anexo B: Resistencia máxima para SPAT: (TDR) Ministerio de Educación. Pág. 39/50

 PERU	Ministerio de Educación	Viceministerio de Gestión Pedagógica	Dirección General de Tecnologías Educativas	INSTITUCIONES UNIÓN de Recursos Educativos FOLIO N.º 47
--	----------------------------	---	--	---

4. SUMINISTRO E INSTALACIÓN ELÉCTRICA PARA SISTEMA PUESTA A TIERRA

El Sistema de Puesta a Tierra (SPAT) deberá entregar un nivel de resistividad menor o igual a 8 ohmios, en condiciones estables de operación y protección eléctrica a través de los Tableros eléctricos, y en las Aulas Funcionales (AA.FF.) de cada Institución Educativa, considerándose una garantía mínima de 3 años de todos los pozos a tierra a instalar.

En el Anexo 03 se menciona la cantidad de SPAT y pozos a tierra por Institución Educativa.

El personal encargado del estudio de campo del presente servicio, deberá tomar las consideraciones técnicas necesarias para el suministro e instalación del Sistema de Puesta a Tierra, incluyendo ducterías, canaletas, cables eléctricos y demás que estime necesario por cada Institución Educativa. El personal encargado deberá realizar una visita a cada Institución Educativa según plan de trabajo con la finalidad que verifiquen las distancias y los detalles de la infraestructura de los I.I.EE. donde se realizarán los trabajos y proveerán todos los elementos necesarios para su correcta implementación.

Para la interconexión del aterramiento desde el TEP hacia el pozo o pozos a tierra la conexión se realizará mediante un cable eléctrico GPT mínimo de 10mm² (8 AWG) color amarillo-verde. Dicha interconexión del cable de aterramiento deberá realizarse desde la barra de cobre del Tablero Eléctrico Principal con los terminales de cobre adecuado y con la rotulación respectiva de símbolo de riesgo eléctrico cada uno de los tableros eléctricos. La cantidad de Sistemas de Protección Puesta a Tierra son 1000 unidades.

La cantidad de pozos a tierra es de 3065, para determinar la cantidad estimada por Institución Educativa se consideró 01 por cada 130 laptops.

La instalación del cable eléctrico de aterramiento entre TEP hacia el pozo a tierra, deberá ser subterránea en tal caso deberá ser entubada con tubos del tipo PVC-SAP y/o empleando tuberías adosadas en los ambientes exteriores y adosada a las paredes.

Las obras civiles, adecuaciones e instalaciones electromecánicas referidas al sistema de puesta a tierra SPAT) se realizarán mediante ductos tipo PVC-SAP, las cuales deberán ser enterradas a 30 cm si es loza de cemento y 40 cm. Si es tierra Tipo I (arcilloso y conglomerado) o tierra tipo II (rocoso). Para las instalaciones externas del cable de aterramiento se deberá usar tubería PVC-SAP para exteriores y en las instalaciones internas deberá utilizarse canaletas 40 mm X 20 mm, ángulos internos, ángulos externos, uniones y demás compatibles entre sí y de la misma marca.

Para los casos que el sistema a puesta a tierra (SPAT) necesite la instalación de pozos a tierras adicionales con la finalidad de asegurar (Menor o igual a 08 ohmios), el Contratista interconectará las platinas de cobre o los electrodos de cobre de cada pozo a tierra con cables de cobre multifilar de una sección transversal de 50 mm² como mínimo.

Los pozos a tierra de las Instituciones Educativas deben estar interconectados entre sí, a fin de garantizar la equipotencialidad de la tierra.

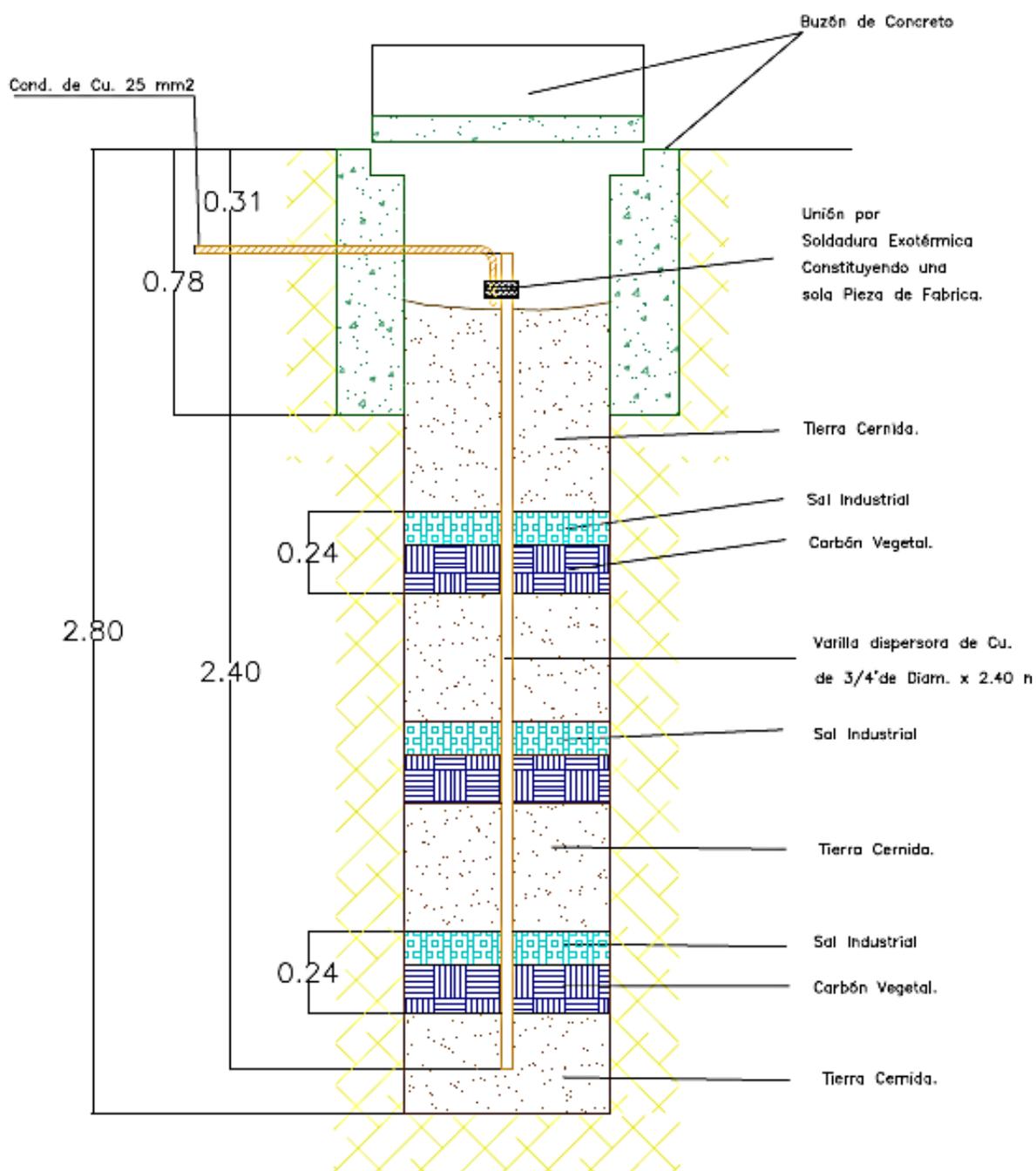
Los pozos a tierra pueden ser del tipo horizontal.

La caja de registro del pozo o pozos a instalar deberá ser de material plástico, asegurada con pernos, a fin de tener un fácil acceso para su inspección y mantenimiento.

39/50



Anexo C: Especificaciones y detalles de Puesta a Tierra



Elaboración: Propia