



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ESTIÉRCOL DE ALPACA
EN LA IONIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA**

PRESENTADA POR:

GREGORIO MEZA MAROCHO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2023

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO D
EL ESTIÉRCOL DE ALPACA EN LA IONIZ
ACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A
T**

AUTOR

GREGORIO MEZA MAROCHO

RECUENTO DE PALABRAS

16607 Words

RECUENTO DE CARACTERES

89054 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

100 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

27.8MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 9, 2023 12:11 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 9, 2023 12:13 PM GMT-5

● **15% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 14% Base de datos de Internet
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)

DR. JUAN W. TUDELA MAMANI
Profesor Principal D.E.
UNA-PUNO





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE

TESIS

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ESTIÉRCOL DE ALPACA
EN LA IONIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

PRESENTADA POR:

GREGORIO MEZA MAROCHO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE


.....
PhD. SABINO ATENCIO LIMACHI

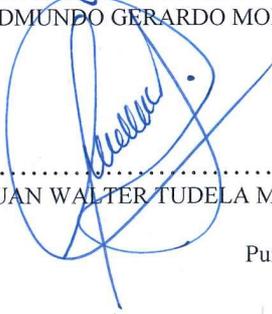
PRIMER MIEMBRO


.....
Dr. EUSEBIO BENIQUE OLIVERA

SEGUNDO MIEMBRO


.....
Dr. EDMUNDO GERARDO MORENO TERRAZAS

ASESOR DE TESIS


.....
Dr. JUAN WALTER TUDELA MAMANI

Puno, 18 de agosto de 2023

ÁREA: Ciencias de la Ingeniería.

TEMA: Evaluación del Comportamiento del Estiércol de Alpaca en la Ionización de los Sistemas de Puesta a tierra.

LÍNEA: Recursos Naturales y Medio Ambiente.



DEDICATORIA

Quiero agradecer a Dios, quien me ha dado la fortaleza para cumplir mis metas, y realizar este trabajo.

Quiero agradecer y dedicar este trabajo de investigación a mi esposa Elsa compañera de vida, a mis hijos Ruth, Karen, Fernando, para quienes sigan mi ejemplo de estudio y superación; y a mis nietos Liam, Vincent, Frances, Amelia y Tupac superen a mis logros y lleguen mucho más lejos que yo.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, por darme la oportunidad de haber realizado mis estudios de Doctorado: Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

A los Docentes de la Escuela de Posgrado quienes me impartieron su conocimiento y plasmarlo en el desarrollo de la tesis e inculcar en mi la inquietud en investigar.

A mi asesor Dr. Juan Walter Tudela Mamani por su apoyo y guía incondicional en la culminación del trabajo de investigación.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico	3
1.1.1. Conexión a tierra	3
1.1.2. Puesta a tierra de seguridad	4
1.1.3. La resistividad del suelo	5
1.1.4. Resistencia del sistema a tierra	7
1.1.5. Puesta a tierra del sistema eléctrico	9
1.1.6. Protección contra descargas eléctricas	10
1.1.7. Componentes del sistema de puesta a tierra	12
1.1.8. Las varillas de tierra	12
1.1.9. Conectores	13
1.1.10. Los conductores de tierra	15
1.1.11. Tratamiento del suelo	16
1.1.12. Medición de la resistencia de tierra	17
1.1.13. Método de caída de potencial	17



1.1.14.	Método de la pendiente	18
1.1.15.	Método de los dos puntos	19
1.1.16.	Pinza amperimétrica	20
1.1.17.	Medición de la resistividad del suelo	21
1.1.18.	Método de dos puntos	22
1.1.19.	Método de los tres puntos	22
1.1.20.	Método de cuatro puntos	23
1.1.21.	Arreglo de Schlumberger Palmer o de espaciamiento desigual	24
1.1.22.	Estiércol de alpaca	25
1.1.	Antecedentes	25

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1.	Identificación del problema	28
2.1.1.	Descripción de la realidad problemática	29
2.1.2.	Territorio	30
2.2.	Enunciados del problema	31
2.2.1.	Enunciado general	31
2.2.2.	Enunciados específicos	31
2.3.	Justificación	31
2.4.	Objetivos	32
2.4.1.	Objetivo General	32
2.4.2.	Objetivos Específicos	32
2.5.	Hipótesis	32
2.5.1.	Hipótesis General	32
2.5.2.	Hipótesis Específicas	33
2.5.3.	Variables	33



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio	34
3.2. Población	35
3.3. Muestra	35
3.4. Método de investigación	35
3.4.1. Tipo de investigación	35
3.4.2. El método propuesto	36
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	36
3.5.1. Determinación de la resistividad del terreno	36
3.5.2. Medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra tratado con estiércol de alpaca	41

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Determinación de la resistividad del terreno	44
4.1.1. Descripción del caso de estudio	44
4.1.2. Estimación de la resistividad	45
4.1.3. Contrastación de hipótesis	62
4.1.4. Hipótesis de investigación	62
4.2. Discusión	67
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS	79



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Valores típicos de la resistividad del suelo	6
2. Variación de la resistividad del suelo con el contenido de humedad	7
3. Resistividad del terreno trayectoria norte	48
4. Resistividad del terreno trayectoria este	49
5. Logaritmos naturales de las resistividades aparentes trayectoria N°1	51
6. Modelado Resistividad del terreno trayectoria N°1	53
7. Logaritmos naturales de las resistividades aparentes trayectoria N°2	54
8. Modelado Resistividad del terreno trayectoria N°2	55
9. Resistencia teorica	56
10. Medicion de la resistencia pozo sin tratar	59
11. Medición de la resistencia pozo con tratamiento	60
12. Correlación de la distancia y resistencia	61
13. Resistividad del terreno vs resitencia	63
14. Valores críticos de la distribución t de Student hipotesis 1	64
15. Resultados aplicación t de Student hipótesis 1	65
16. Tratamiento con estiercol de alpaca	66
17. Valores críticos de la distribución t de Student hipotesis 2	66
18. Resultados aplicación t de Student hipótesis 2	67



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Toma de tierra vertical	4
2. Estructura multicapa del suelo	5
3. Resistencia de tierra	9
4. Formación de un rayo	11
5. Varilla de tierra	13
6. Conectores	15
7. Medición de la resistencia por el método de caída de potencial	18
8. Medición de la resistencia por el método de la pendiente	19
9. Método de dos puntos para medir la resistencia de tierra	20
10. Método de la pinza para medir la resistencia de tierra	21
11. Método de cuatro puntos para medir la resistencia de tierra	24
12. Sistema Asimétrico	25
13. Santa Rosa de Mazo Cruz	34
14. Método de los cuatro puntos	37
15. Conexión del equipo medida de la resistividad	37
16. Conexión del equipo medida de la resistividad	38
17. Modelado resistividad del suelo	40
18. Resistencia teórica	40
19. Conexión del equipo medida de la resistividad	41
20. Impedancia típica frente a la distancia	42
21. Esquema de conexión medición de la resistencia	43



22. Medición de la resistividad trayectoria N°1 norte	45
23. Esquema de instalación método Werner	46
24. Medición de la resistividad método Werner	47
25. Resistividad aparente vs espaciamento trayectoria N°1 norte	48
26. Resistividad aparente vs espaciamento trayectoria este	49
27. Medición de la resistividad trayectoria N°2 este	50
28. Pozo sin tratamiento	58
29. Impedancia típica frente a la distancia	59
30. Pozo tratado con estiércol de alpaca	60
31. Impedancia típica frente a la distancia pozo tratado	61
32. Resistencia vs distancia pozo tratado con estiércol de alpaca	62



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Certificado de calibración	79
2. Panel Fotográfico	83



RESUMEN

Las descargas eléctricas someten a las instalaciones eléctricas a corrientes y voltajes transitorios de gran magnitud, que pueden dañar irreparablemente el equipo eléctrico y poner en grave peligro la seguridad humana. El objetivo del trabajo de investigación es evaluar la Influencia del comportamiento del estiércol de alpaca en la ionización del sistema de puesta a tierra, para obtener un relativo beneficio. El método para medir la resistividad es el método de Wenner y para determinar la resistencia de puesta a tierra se utilizará el método de los 3 polos, también conocido como la caída del potencial. Para este propósito, se realizó ensayos a escala real del sistema de puesta a tierra utilizando para ello varillas de puesta a tierra verticales individuales, conducidas en el suelo sin tratamiento y en conjunto con el estiércol de alpaca como elemento beneficioso; en ese sentido; se ha determinado la resistividad del terreno en cada estrato de la ubicación del electrodo; para tal efecto, se realizó las mediciones en dos direcciones; el mismo, que nos da como resultado que para la trayectoria número uno (norte), tenemos una resistividad de 193.28 Ohmios por metro y para la trayectoria número dos (este), tenemos una resistividad de 108.99 Ohmios por metro; en cuanto que, para la resistencia del sistema de puesta a tierra tratado con estiércol de alpaca se tiene el resultado de 29 Ohmios, en comparación con el pozo a tierra que nos da una resistencia de 62.6 Ohmios; lo cual, representa una mejora en la resistencia.

Palabras clave: Descarga, estiércol, impedancia, puesta a tierra, resistencia, resistividad.



ABSTRACT

Electrical discharges expose electrical installations to transient currents and voltages of great magnitude, which can irreparably damage electrical equipment and seriously endanger human safety. The objective of the research work is to evaluate the influence of the behavior of alpaca manure on the ionization of the grounding system, in order to obtain a relative benefit. The method to measure the resistivity is the Wenner method and to determine the grounding resistance the 3-pole method, also known as the fall of potential, will be used. For this purpose, full scale tests of the grounding system were carried out using individual vertical grounding rods, conducted in the soil without treatment and in conjunction with alpaca manure as a beneficial element; in this sense, the resistivity of the ground in each stratum of the electrode location has been determined; for this purpose, measurements were made in two directions; the same, which gives us as a result that for the path number one (north), we have a resistivity of 193.28 Ohms per meter and for path number two (east), we have a resistivity of 108.99 Ohms per meter; whereas, for the resistance of the grounding system treated with alpaca manure we have the result of 29 Ohms, compared to the grounding well that gives us a resistance of 62.6 Ohms, which represents an improvement in resistance.

Keywords: Discharge, grounding, impedance, slurry, resistance, resistivity.

INTRODUCCIÓN

La resistencia de la conexión a tierra es uno de los más básicos e importantes factores para el análisis de las fallas en el sector eléctrico y afecta a la tasa de interrupción por sobrecargas en los sistemas de distribución (Sekioka et al., 2005a). El tipo de suelo juega un papel importante en la determinación del valor de resistencia de la conexión a tierra, debido a su alta resistividad posible del suelo, o su particularmente ambiente corrosivo (Androvitsaneas et al., 2016).

La resistencia de puesta a tierra está estrechamente relacionada con la resistividad del suelo (Zhiwei & Zhao, 2012a). La resistencia depende en gran medida de la dimensión de la varilla y de la resistividad del suelo (Sekioka et al., 2005a). La resistividad de la tierra varía no sólo con el tipo de suelo, sino también con la temperatura, la humedad, las condiciones minerales, el clima y la compactación (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007). Los sistemas de puesta a tierra se comportan de manera diferente cuando la resistencia de la tierra no es lineal, debido a procesos térmicos y de ionización (Mohamad Nor et al., 2013a).

La ionización del suelo como el aumento en el tamaño del conductor de tierra, tiene una influencia beneficiosa, especialmente en suelos de alta resistividad (Liu et al., 2004). Por otra parte, la humedad tiene influencia en la resistencia del suelo depende no sólo de las características de la capa superior, sino también de la resistividad de las capas más profundas, y en la resistividad aparente depende tanto del tamaño del sistema de puesta a tierra como de las características del suelo (Coelho et al., 2015).

El sistema de puesta a tierra debe tener una impedancia y una capacidad de transporte de corriente suficientemente bajas para evitar la acumulación de tensiones que puedan dar lugar a un indebido peligro para los equipos conectados y para las personas (Hu et al., 2012b). Debe ser diseñado con "cero impedancias" para proporcionar una descarga efectiva de las corrientes de falla y para evitar el aumento potencial en y alrededor de la instalación (Mohamad Nor et al., 2013a). Se diseña para garantizar la seguridad del equipo, el personal y el sistema mismo, proporcionando el camino más bajo de impedancia para que las corrientes de falla se dispersen en la tierra en el tiempo más corto posible (Ahmad et al., 2010).

Para lograr una protección adecuada, es esencial implementar procedimientos técnicos para asegurar no sólo que los valores de resistencia del suelo medidos durante la implementación del sistema de puesta a tierra estén dentro de los límites establecidos por las normas, sino también que se mantengan dentro de estos límites (Luiz et al., 2015). Se aplican algunos métodos en la práctica ingeniería para reducir la resistencia de la puesta a tierra. Entre ellas el relleno conductivo alrededor de los dispositivos de puesta a tierra es ampliamente utilizado (Hu et al., 2012a).

El uso de compuestos mejoradores de tierra puede disminuir la resistencia de tierra y la impedancia de los sistemas a niveles muy bajos, de modo que las corrientes altas puedan dispersarse en la tierra de forma segura (Androvitsaneas et al., 2016). La falta de ionización del terreno crea terrenos de alta resistencia eléctrica que perjudica la protección contra las descargas eléctricas que someten a los sistemas de energía y a las instalaciones eléctricas a corrientes y voltajes transitorios de gran magnitud, que pueden dañar irreparablemente el equipo eléctrico y poner en grave peligro la seguridad humana.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es evaluar el comportamiento del estiércol de alpaca en la ionización de los sistemas de puesta a tierra (Alvarez et al., 2006), esta investigación se realiza porque este recurso natural existe en las zonas altoandinas de nuestra región; en donde, también se registran descargas atmosféricas constantes en época de lluvia causando pérdidas de vidas humanas y de animales principalmente (Mohamad Nor et al., 2013a); por otra parte, al ser un recurso natural orgánico, este es amigable con el medio ambiente, podemos decir, que la utilización del estiércol de alpaca, tiene un impacto ambiental positivo en comparación con compuestos mejoradores artificiales (Gazzana et al., 2014).

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico

1.1.1. Conexión a tierra

La conexión a tierra, como se muestra en la *Figura 1*, aunque probablemente sea el aspecto más importante del diseño de sistemas o circuitos eléctricos, es uno de los aspectos del diseño menos comprendidos. La falta de comprensión de la conexión a tierra genera más confusión y malentendidos que cualquier otro tema técnico en el diseño de sistemas eléctricos y electrónicos (E. Joffe & Lock, 2023).

El sistema de puesta a tierra de un sistema eléctrico puede desempeñar diferentes funciones (Velásquez & Lara, 2019). Dependiendo del tipo de aplicación, los requisitos de los parámetros del sistema de puesta a tierra varían, generalmente se asocian con el punto del que está conectado a la tierra por conductores eléctricos (Camara et al., 2020). Se instala para garantizar la seguridad del personal y de los equipos en caso de fallo de la red eléctrica o descargas atmosféricas (Kontargyri et al., 2015). Es de gran importancia para lograr la eficiencia del sistema de protección implicado con la consiguiente seguridad personal, en las redes eléctricas y en el sistema de protección (Gazzana et al., 2018).

No es fácil intuitivamente el concepto de conexión a tierra, ya que no se puede definir, modelar o analizar de forma directa. Muchos factores no controlados afectan al rendimiento de la puesta a tierra (Alsharari et al., 2020). Además, los reglamentos, normas y códigos hacen poco por despejar esta niebla y por desmitificar sus conceptos (Committee of the IEEE Power & Society, 2012a). La experiencia desempeña un

papel primordial en la elección final de la metodología de puesta a tierra del sistema. Esta experiencia no suele ser transferible a la metodología de puesta a tierra de otro sistema, aunque empleen tecnologías y aplicaciones similares (E. Joffe & Lock, 2023). La función de la puesta a tierra es la de forzar la derivación, al terreno, de las intensidades de corriente, de cualquier naturaleza que se puedan originar, ya se trate de corrientes de defecto, bajo frecuencia industrial, o debidas a descargas atmosféricas, de carácter impulsiva (García Márquez, 1991).

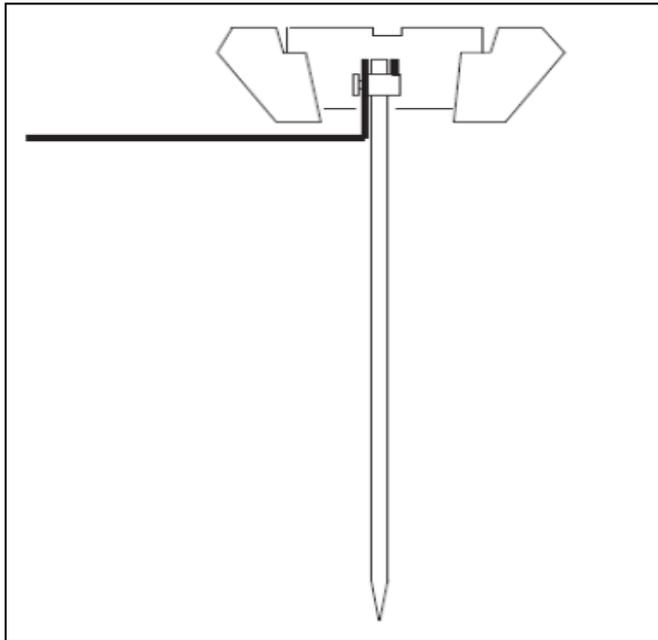


Figura 1. Toma de tierra vertical

Fuente: (E. Joffe & Lock, 2023).

1.1.2. Puesta a tierra de seguridad

La principal preocupación asociada con la puesta a tierra de seguridad es la protección contra los peligros asociados con la alta tensión y corriente, que puede ser una amenaza para la vida o causar graves daños a equipos, instalaciones y servicios. En particular, la puesta a tierra de seguridad puede asociarse a tres aspectos interrelacionados (E. B. Joffe & Lock, 2011).

1. Para limitar las tensiones debidas a rayos, sobretensiones de línea, o contacto involuntario con líneas de alta tensión. Estas tres fuentes de sobretensión peligrosa tienen un camino alternativo alrededor del sistema eléctrico en casa, o en el lugar de trabajo, conectando intencionadamente el sistema a tierra.

2. Para estabilizar las tensiones. Hay muchas fuentes de electricidad. Cada transformador puede considerarse una fuente independiente. Si no hubiera un punto de referencia común para todas las fuentes de tensión, sería extremadamente difícil calcular sus relaciones entre ellas. La tierra, por supuesto, es la superficie conductora más omnipresente. Fue adoptada en sus inicios como norma casi universal para todos los sistemas eléctricos.
3. Proporcionar una vía para facilitar el funcionamiento de los dispositivos de sobreintensidad. Desde un punto de vista cotidiano, este último propósito de la toma de tierra es el más importante que hay que entender con respecto a la puesta a tierra de seguridad (E. Joffe & Lock, 2023).

1.1.3. La resistividad del suelo

La resistividad de los suelos varía con la profundidad desde la superficie, el tipo y la concentración de productos químicos solubles en el suelo, el contenido de humedad, y la temperatura del suelo; en consecuencia, la resistividad es la cantidad del electrolito contenido en el suelo; por consiguiente, la presencia de agua superficial no indica necesariamente una baja resistividad (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007).

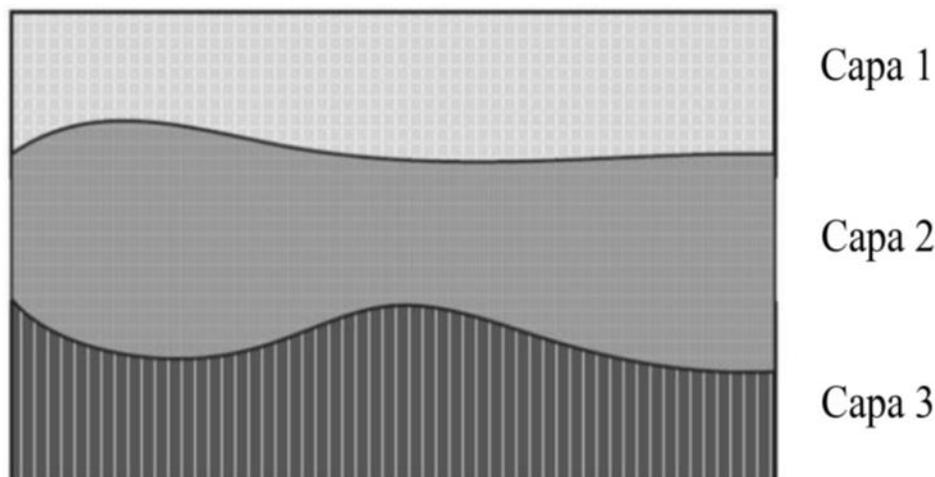


Figura 2. Estructura multicapa del suelo

Fuente: (E. Joffe & Lock, 2023).

La resistividad total de un terreno es la resultante de las correspondientes a las diversas capas que lo constituyan; puede suceder, que una sola capa presente una resistividad

tan baja que la influencia de las demás sea imperceptible, tal como cuando se alcanzan zonas de agua o el nivel freático (García Márquez, 1991).

Para un electrodo dado, la resistencia a tierra depende principalmente de la resistividad eléctrica del suelo en el que está instalado (Galvan et al., 2010). El perfil de resistividad del suelo in situ suele determinar el diseño del subsistema de electrodos de tierra y la profundidad a la que debe introducirse el electrodo para obtener una resistencia a tierra satisfactoria (Rand, 2000). La resistividad del suelo se refiere a la resistencia específica del suelo. Suele expresarse en ohmios - metros (Ω - m). Es la resistencia en ohmios entre las caras opuestas de un cubo de tierra de 1 m de lado (Acevedo et al., 2005). La resistividad del suelo es esencialmente de naturaleza electrolítica. Depende en gran medida del tipo de suelo, de su contenido de humedad y de la composición química y la concentración de sales en el agua que contiene. La resistividad del suelo también depende de la temperatura y de las propiedades mecánicas, como el tamaño del grano y la compacidad del suelo. En la Tabla 1 se muestra la resistividad de algunos materiales comunes (E. Joffe & Lock, 2023).

Tabla 1

Valores típicos de la resistividad del suelo

Tipo de materiales	Resistividad, Ω - m	
	Típico	Rango habitual
Agua de mar	0,2	0,15-0,25
Agua de lagos interiores	20	10-500
Arcilla húmeda	10	2-12
Margas, tierra de jardín	25	5-50
Aluvión en las orillas de los ríos	25	10-100
Arcilla, arena y grava	100	40-250
Roca	3000	1.000-50.000
Hormigón	100	40-5.000
Caliza porosa	50	30-100
Arenisca porosa	100	30-300

Fuente: (E. Joffe & Lock, 2023).

Existe una gran variación en la resistividad entre diferentes tipos de suelos y con diferentes contenidos de humedad. Aunque el suelo seco tiene una resistividad muy

alta, las mediciones han demostrado que no hay una reducción significativa de la resistividad cuando el contenido de humedad es superior al 15% o 20%. La Tabla 2 muestra el efecto de la humedad en la resistividad del suelo.

Tabla 2

Variación de la resistividad del suelo con el contenido de humedad

Contenido de humedad (porcentaje en peso)	Resistividad típica, Ω - m	
	Arcilla mezclada con arena	Arena
0	10,000,000	-
2.5	1,500	3,000,000
5	430	50,000
10	185	2,100
15	105	630
20	63	290
30	42	-

Fuente: (E. Joffe & Lock, 2023).

Puede concluirse en que claramente se ve que la resistividad del terreno es una magnitud variable y que el único camino aceptable para conocer su valor consistirá en medirla, lo que permitirá establecer su magnitud en las condiciones existentes en cada caso (Galvan et al., 2010).

1.1.4. Resistencia del sistema a tierra

La impedancia de todo el sistema de puesta a tierra se calcula teniendo en cuenta las contribuciones de puesta a tierra de todos sus elementos por separado (Popović, 2011).

Se compone de lo siguiente:

- a) Resistencia del electrodo.
- b) Resistencia de contacto entre el electrodo y el suelo.
- c) Resistencia del suelo.

Los electrodos suelen estar fabricados con materiales altamente conductores de tamaño y sección suficientes; por lo tanto, la resistencia del electrodo es despreciable

(Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007). También puede ignorarse la resistencia de los conductores metálicos del sistema de puesta a tierra.

La resistencia de contacto entre la superficie de un electrodo y el suelo puede reducirse a un valor bajo asegurándose de que el material de relleno sea del tipo adecuado (Sung et al., 2016). La resistencia de contacto podría ser significativa en una instalación nueva en la que el suelo aún no se ha estabilizado. Una vez que el suelo se ha consolidado, la resistencia de contacto es insignificante (E. Joffe & Lock, 2023).

Como la tierra es infinita en su tamaño, comparada con los sistemas de puesta a tierra como nosotros conocemos, así como su capacidad de absorber un suministro virtualmente ilimitado de corriente; sin embargo, esta corriente ilimitada a la tierra se transmite a través del metal interfaz electrodo-tierra de una manera que se describe mejor como sigue (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007):

La distancia de la tensión de paso máxima de la varilla de tierra aumenta con la profundidad de la varilla de tierra enterrada (Chen et al., 2008a). Alrededor de un electrodo de tierra, la resistencia del suelo es la suma de las resistencias en serie de cáscaras virtuales de tierra, localizadas progresivamente hacia afuera de la varilla, la capa más cercana a la varilla tiene el área circunferencial o sección transversal más pequeña, por lo que tiene la mayor resistencia (Kwon et al., 2023). La resistividad del suelo varía mucho de un lugar a otro a medida que cambia el tipo de suelo. En algunos lugares, el suelo puede ser muy poco homogéneo, con una estructura de varias capas a poca distancia de la superficie de la tierra (Khan et al., 2012). A menudo, hay varias capas de suelo compuestas de margas, arena, arcilla, grava y rocas. Las capas pueden ser aproximadamente horizontales respecto a la superficie o estar inclinadas en ángulo respecto a la superficie (Reddi et al., 2012). La resistividad también fluctúa estacionalmente debido a los cambios en las precipitaciones y la temperatura. La resistencia del suelo de los sistemas de pequeñas dimensiones puede variar significativamente y comprometer el rendimiento de los sistemas de protección contra el rayo (Coelho et al., 2015). El impacto de la temperatura sólo es importante cerca y por debajo del punto de congelación. La resistividad del suelo es uno de los factores más importantes que afectan al rendimiento del sistema de puesta a tierra porque el valor de la resistencia de la tierra es directamente proporcional a la resistividad del medio en el que están instalados los electrodos de tierra (An et al., 2020). En los

lugares en los que existe un suelo multicapa a poca profundidad, la resistividad media o aparente depende de la estructura de las capas, de la resistividad del suelo y de la profundidad de cada capa (E. Joffe & Lock, 2023).

Los sucesivos caparazones fuera de éste tienen áreas progresivamente más grandes, y por lo tanto progresivamente resistencias más bajas y a medida que el radio de la varilla aumenta, la resistencia incrementada por unidad del radio disminuye efectivamente hasta casi cero (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007). En la mayoría de los suelos con capas variables, el perfil de resistividad multicapa es más adecuado para obtener características del suelo cercanas a la superficie (Islam & Chik, 2013).

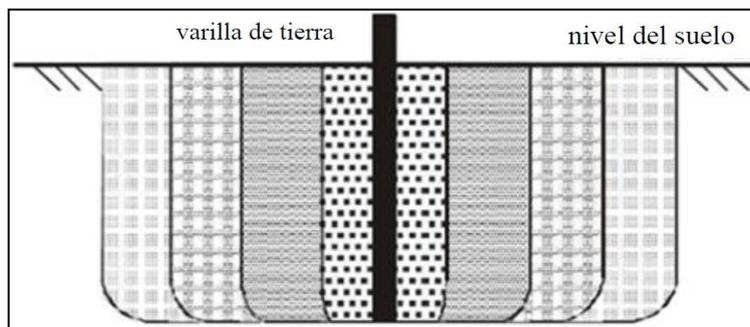


Figura 3. Resistencia de tierra

Fuente: (Rand, 2000).

1.1.5. Puesta a tierra del sistema eléctrico

La puesta a tierra desempeña un papel importante en distribución para el funcionamiento seguro de cualquier sistema eléctrico (Androvitsaneas et al., 2016). Un sistema de alimentación conectado a tierra suele referirse a un sistema en el que el punto neutro de los devanados del transformador o generador está intencionadamente conectado a tierra, ya sea sólidamente o mediante impedancia (Leal et al., 2023a).

La puesta a tierra del sistema eléctrico debe proporcionar una vía de impedancia suficientemente baja, a través de los conductores de retorno, de vuelta a la fuente de alimentación para facilitar el funcionamiento de los relés de protección en condiciones de fallo (Committee of the IEEE Power & Society, 2012a).

La puesta a tierra y la conexión a tierra también se aplican para limitar el aumento de potencial a un valor seguro en todos los elementos metálicos no conductores de

corriente, con los que las personas y los animales pueden entrar en contacto, en condiciones de circuito normales y anormales (Choi & Lee, 2012). La unión de todas las partes conductoras normalmente expuestas, como las tuberías metálicas de gas, agua, calefacción y aire acondicionado, y la conexión de dicha unión al terminal de tierra impedirá que se produzca una diferencia de potencial peligrosa entre las partes metálicas adyacentes en condiciones anormales (E. Joffe & Lock, 2023).

Los principales objetivos de la puesta a tierra de los sistemas de energía se resumen a continuación:

1. Garantizar que los seres vivos no estén sometidos a peligrosas descargas eléctricas en condiciones normales o de avería.
2. Proporcionar un camino para el flujo de corriente de falla que permita la detección de una conexión no deseada entre los conductores del sistema y la tierra, a fin de facilitar la operación automática de los dispositivos de protección para eliminar la falla del sistema.
3. Mantener la tensión del sistema dentro de límites razonables en condiciones de falta, de forma que no se superen las tensiones de ruptura del aislamiento del sistema.
4. Controlar la tensión a tierra dentro de límites predecibles para que pueda utilizarse un aislamiento graduado en el diseño y la construcción de transformadores de potencia (E. Joffe & Lock, 2023).

1.1.6. Protección contra descargas eléctricas

Desde los albores de la humanidad, se han observado miles de lesiones causadas por rayos, que han provocado muertes y daños a los seres humanos con efectos a corto y largo plazo. Se sabe que los efectos de una determinada corriente eléctrica que atraviesa el cuerpo humano están relacionados principalmente con su duración, frecuencia y magnitud (Gazzana et al., 2014).

Los sistemas de protección contra el rayo requieren un sistema de puesta a tierra eficaz para minimizar las sobretensiones directas e inducidas por el rayo de los servicios y estructuras cercanos (Choi & Lee, 2012).

El rayo nube-tierra es esencialmente un enorme fenómeno de descarga electrostática que implica la neutralización de cargas entre dos electrodos, la nube y la tierra, produciendo un campo eléctrico del orden de cientos o miles de mega voltios (Azlinda Ahmad et al., 2010).

El sistema de puesta a tierra desempeña un papel importante en la protección contra el rayo. El sistema de puesta a tierra debe tener una impedancia y una capacidad de transporte de corriente lo suficientemente bajas como para evitar la acumulación de tensiones que puedan suponer un peligro indebido para los equipos conectados y para las personas (Wu et al., 2014).

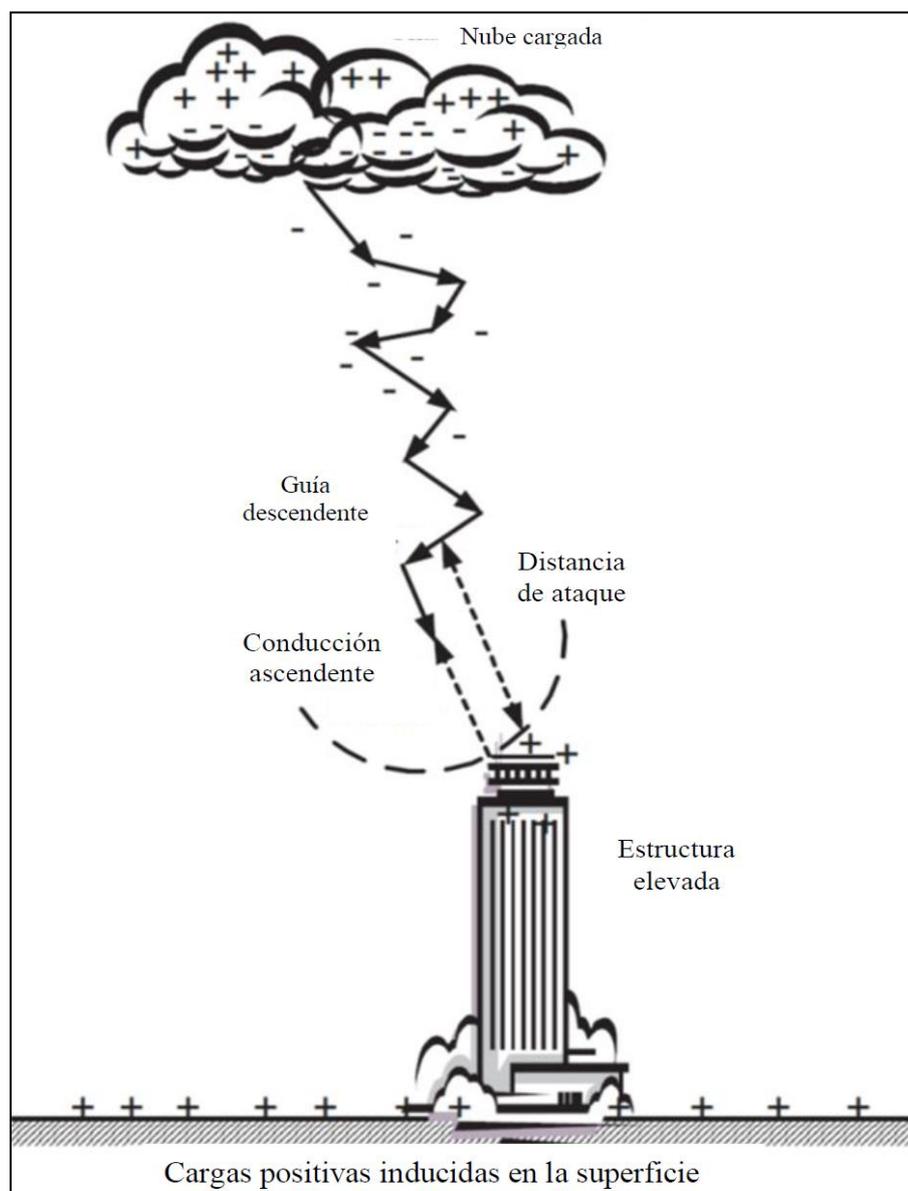


Figura 4. Formación de un rayo

Fuente: (E. Joffe & Lock, 2023).

La puesta a tierra de la protección contra el rayo es uno de los raros ejemplos que requieren una buena conexión con la masa general de tierra. La puesta a tierra de un equipo eléctrico o de un sistema de suministro implica una conexión a la masa general de tierra (García Márquez, 1991). La conexión final a tierra se realiza normalmente a través de conductores enterrados denominados electrodos de puesta a tierra. La función de un electrodo de puesta a tierra es proporcionar una conexión efectiva a la masa general de la tierra. La eficacia de un electrodo de puesta a tierra o de un grupo de electrodos viene determinada principalmente por la impedancia entre el sistema de puesta a tierra y la masa general de la tierra (E. Joffe & Lock, 2023).

1.1.7. Componentes del sistema de puesta a tierra

Los principales componentes de puesta a tierra son:

- Varillas de conexión a tierra
- Conectores
- Conductores de tierra.

1.1.8. Las varillas de tierra

Un electrodo de puesta a tierra es uno de los componentes más importantes de una instalación eléctrica para proteger a las personas y garantizar un funcionamiento fiable de los equipos manteniendo las tensiones de los equipos iguales al potencial de tierra (Ametani et al., 2012).

La varilla de tierra vertical que se muestra en la *Figura 5* es la forma más común de electrodo porque puede clavarse profundamente bajo el suelo para aprovechar el suelo de baja resistividad. Las varillas de tierra se fabrican en distintas longitudes, diámetros y materiales que cumplen las normas pertinentes. El diámetro de la varilla no tiene un impacto significativo en la resistencia. Por ejemplo, duplicar el diámetro sólo reduce la resistencia en un 10% aproximadamente. El tamaño de las varillas o tubos se determina generalmente por la resistencia mecánica a la flexión o a la rotura (E. Joffe & Lock, 2023).

La función de los electrodos de puesta a tierra es drenar eficazmente las corrientes de fallo y de rayo hacia el suelo y, de este modo, mitigar los daños de las instalaciones de los sistemas de telecomunicaciones y de energía eléctrica (Otani et al., 2014).

Están comúnmente disponibles en metales como acero con cobre, acero galvanizado, acero inoxidable sólido, cobre sólido y ocasionalmente también se utiliza el acero común; sin embargo, el cobre es un metal más noble que el acero y por lo tanto resistirá la corrosión mucho mejor que el acero, o incluso el acero galvanizado en la mayoría de los suelos (Keith & Switzer, 1999).

La respuesta del electrodo de puesta a tierra al impulso de corriente del rayo puede representarse mediante la impedancia de impulso, que se define como la relación entre la tensión de pico inducida en el punto de alimentación del electrodo y el valor máximo de la corriente del rayo (Šesnić et al., 2015).

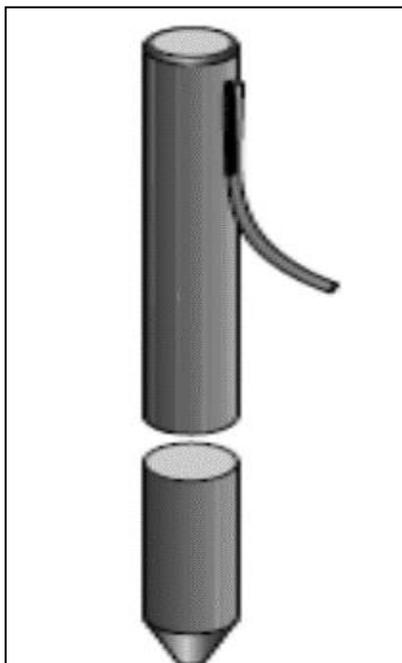


Figura 5. Varilla de tierra

Fuente: (E. Joffe & Lock, 2023).

1.1.9. Conectores

La conexión a tierra o el sistema de electrodos necesita tener una resistencia suficientemente baja para reducir al mínimo la posibilidad de que se produzca una descarga para el personal que pueda estar en las proximidades del equipo, instalaciones, conductores o los propios electrodos como resultado de un rayo o el

contacto involuntario de los conductores con conductores de mayor voltaje y para limitar sobretensiones transitorias (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007).

La conexión se ocupa de las técnicas y los procedimientos necesarios para lograr una interconexión mecánicamente resistente y de baja impedancia y para evitar el deterioro por corrosión o flojedad mecánica de esta conexión. Desde el punto de vista de los resultados que deben alcanzarse, la conexión es necesaria para:

- 1) Proporcionar vías de retorno de corriente eléctrica de potencia y de señal para los sistemas que utilizan una estructura metálica para las corrientes de retorno de potencia y/o de señal, minimizando al mismo tiempo la caída de tensión total a lo largo de la vía.
- 2) Protección contra los riesgos de descarga eléctrica, garantizando que se permita que fluya una corriente de defecto suficiente o que se disparen a tiempo los dispositivos de protección de circuitos.
- 3) Eliminación de la ignición de vapores inflamables debida a la formación de arcos, chispas (caracterizadas por partículas calientes y ruptura de tensión) y puntos calientes térmicos resultantes del flujo de corrientes eléctricas de defecto.
- 4) Protección de las personas y los equipos contra el riesgo de descargas de rayos, proporcionando a las altas corrientes de descarga un camino alternativo de baja impedancia y desviándolas de los equipos sensibles, evitando daños a los aparatos y riesgos de descarga para las personas.
- 5) Eliminación del acoplamiento de señales de interferencia en el equipo, proporcionando continuidad eléctrica a través de interfaces mecánicas y eléctricas externas, tanto dentro del equipo como entre los elementos del sistema, minimizando las diferencias de potencial a través de las interfaces metálicas y, en particular, manteniendo la integridad del blindaje de la carcasa del equipo asegurando la continuidad de la cobertura metálica sobre la carcasa, con el fin de controlar el acoplamiento de campos electromagnéticos, ya sea desde el interior de la carcasa del equipo o desde el exterior de la misma

- 6) Prevención de la acumulación de cargas estáticas, controlando y disipando la acumulación de tensiones parásitas debidas a procesos de carga electrostática, para proteger a las personas de los riesgos de descarga y evitar la degradación del rendimiento o daños en los equipos electrónicos, así como la prevención de los riesgos de ignición de combustibles y artefactos explosivos (E. Joffe & Lock, 2023).

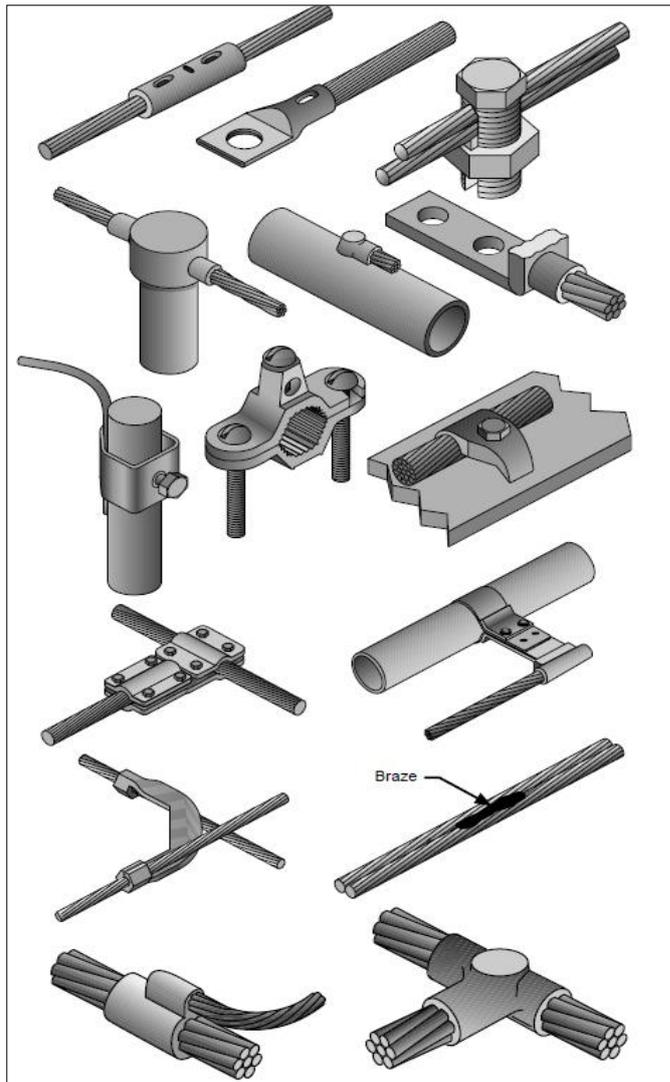


Figura 6. Conectores

Fuente: (Keith & Switzer, 1999).

1.1.10. Los conductores de tierra

El conductor, se utiliza para conectar la toma de tierra del electrodo al equipamiento y/o conductor a tierra en el servicio o fuente de un sistema derivado por separado (MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, 2011).

Una metodología de puesta a tierra de punto único tiene una única ubicación física en el sistema designada como punto de referencia de tierra. Todos los conductores de retorno están conectados a ese punto (Vijayaraghavan et al., 2004). El objetivo de utilizar un único punto de puesta a tierra es evitar que las corrientes de diferentes subsistemas (en diferentes niveles de referencia) compartan una ruta de retorno común, lo que podría dar lugar a un acoplamiento de impedancia común (E. Joffe & Lock, 2023).

1.1.11. Tratamiento del suelo

Para reducir la resistencia a tierra se han propuesto diferentes materiales; entre ellos, el uso de bentonita, lodo de perforación, escoria de horno de acero, acumulación de agua subterránea mediante pozos profundos, y una variedad de otros materiales y técnicas (Khan et al., 2012).

El tratamiento químico de los suelos es una solución activa al problema de los suelos de alta resistividad; para que sea eficaz, se debe establecer un plan de mantenimiento regular para asegurar que se logre una puesta a tierra de baja resistencia (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007).

Si se comprueba que el valor de la resistencia de tierra es demasiado alto para ser aceptado, se pueden considerar varios métodos para mejorarlo. El primer método consiste en aumentar la longitud efectiva de las tomas de tierra. Duplicar la longitud de una varilla vertical reducirá la resistencia de la toma de tierra en un 45% aproximadamente (Ametani et al., 2012). El aumento de la longitud de las varillas horizontales tiene un efecto similar. En algunos lugares, las varillas hincadas a gran profundidad pueden llegar cerca del nivel freático y, por lo tanto, tienen la ventaja de aportar una reducción significativa de la resistencia (E. Joffe & Lock, 2023).

La resistencia del suelo puede reducirse entre el 15% y el 90% mediante tratamiento químico (dependiendo del tipo y la textura del suelo); por lo que, hay un número de tratamientos químicos para este propósito, incluyendo el cloruro de sodio, sulfato de magnesio, sulfato de cobre y cloruro de calcio; la sal común y el sulfato de magnesio son los más utilizados (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007).

1.1.12. Medición de la resistencia de tierra

El sistema de electrodos de tierra suele estar enterrado o ser inaccesible, excepto durante la construcción de la instalación o a través de un pozo de tierra. La resistencia del sistema de tierra debe verificarse en el momento de la construcción, ya que el valor real puede variar con respecto al valor diseñado, que normalmente se calcula basándose en un conjunto de supuestos idealizados. Se realizan inspecciones y pruebas periódicas del sistema de puesta a tierra de una gran instalación para comprobar la integridad y eficacia del sistema de puesta a tierra, que puede estar sujeto al deterioro por corrosión y a cambios en la resistividad del suelo derivados de variaciones estacionales e hidrológicas, como cambios en el nivel freático (E. Joffe & Lock, 2023).

1.1.13. Método de caída de potencial

No hay ningún sustituto para una caída real del potencial de la medición en un sistema de tierra, la mayoría las técnicas e instrumentos de medición son similares y tienen fallas similares, las técnicas actuales utilizan equipo con corriente continua (CC) de estado estable o formas de onda de la fuente de corriente alterna de baja frecuencia (Rand, 2000).

De la *Figura 7*, el comprobador de la resistencia del electrodo de tierra combina una medición de fuente de corriente y de fuente de tensión. Se hace pasar una corriente entre el electrodo E que se va a comprobar y un electrodo de corriente auxiliar C. Se mide la caída de tensión entre E y un electrodo auxiliar secundario P y la resistencia del electrodo de prueba es entonces la tensión entre E y P dividida por la corriente que circula entre E y C. Si nos remitimos a la *Figura 8*, es importante que el electrodo de medida P esté situado en la parte plana de la curva. Esto significa que la sonda de corriente C debe estar situada a una distancia suficiente del electrodo E, cuya resistencia se va a medir, para que las regiones de influencia de E y C no se solapen.

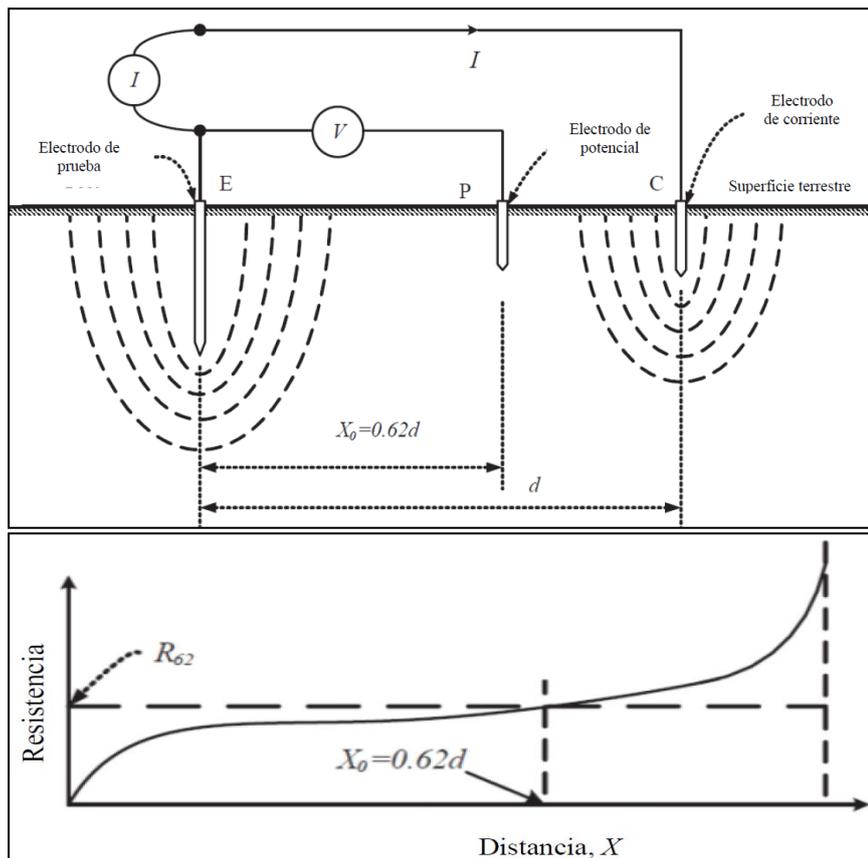


Figura 7. Medición de la resistencia por el método de caída de potencial

Fuente: (E. Joffe & Lock, 2023).

1.1.14. Método de la pendiente

Para la medida de la resistencia de puesta a tierra el Dr. G. F. Tagg, describió un método conocido como "método de la pendiente" la forma de conexión del equipo es como en el método de caída de potencial; por consiguiente, el electrodo de corriente debe ubicarse a una distancia EC desde el sistema de puesta a tierra bajo medida, esta se sugiere de dos 2 a 3 veces la dimensión máxima del sistema de puesta a tierra (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007).

Se puede resumir como sigue:

- Elija un punto de partida conveniente para las mediciones lineales y seleccione una distancia adecuada para el CP.
- Medir las resistencias R1, R2 y R3, a distancias EP iguales a 0,2CP, 0,4CP y 0,6CP respectivamente.
- Calcula el coeficiente de variación de la pendiente.

$$\mu = \frac{R_3 - R_2}{R_2 - R_1} \quad (1)$$

Donde,

R_1 EP es 20% de EC.

R_2 EP es 40% de EC.

R_3 EP es 60% de EC.

μ es una medida del cambio de la pendiente de la curva de resistencia del electrodo de puesta a tierra bajo estudio (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007).

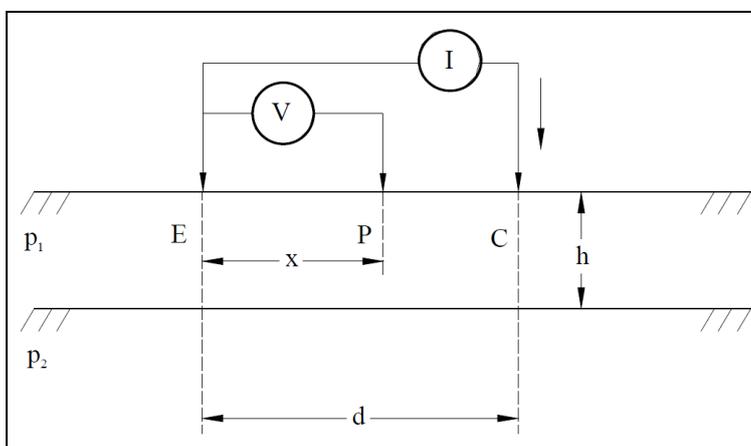


Figura 8. Medición de la resistencia por el método de la pendiente

Fuente: (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007).

1.1.15. Método de los dos puntos

Este método mide la resistencia total del electrodo desconocido y de un electrodo auxiliar, el valor de la resistencia de tierra del electrodo sometido a prueba viene dado simplemente por el valor medido en ohmios. La resistencia de la toma de tierra auxiliar tiene que ser despreciable en comparación con la resistencia del electrodo desconocido para que se determine un valor aceptable (E. Joffe & Lock, 2023).

Una aplicación útil de este método es determinar la resistencia de un único electrodo de varilla vertical cerca de una residencia que también tiene un sistema común de suministro de agua que utiliza tuberías metálicas sin juntas aislantes (Leal et al., 2023b). La tubería de agua sirve como un excelente electrodo auxiliar de baja

resistencia. Este método, como se ilustra en la *Figura 9*, está sujeto a grandes errores cuando no se dispone de un electrodo auxiliar de baja resistencia. Es un método muy conveniente para proporcionar un buen valor aproximado (E. Joffe & Lock, 2023).

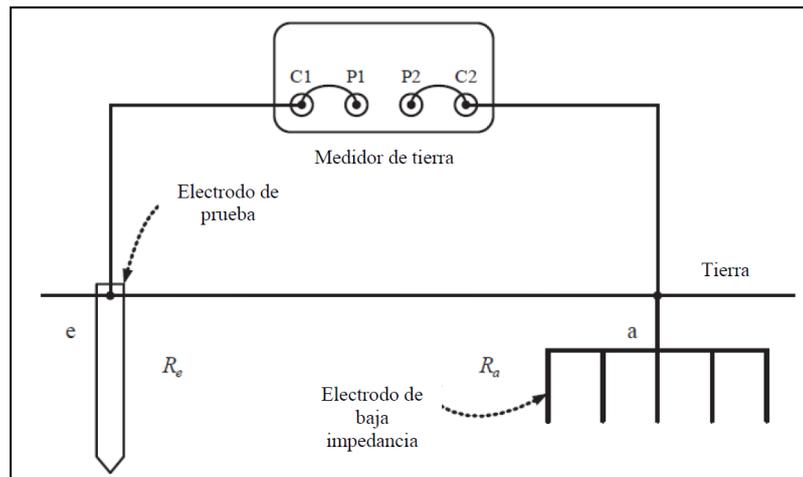


Figura 9. Método de dos puntos para medir la resistencia de tierra

Fuente: (E. Joffe & Lock, 2023).

El valor de resistencia medido R es la suma de la resistencia del electrodo R_e y la resistencia del electrodo auxiliar R_a . Si R_a es mucho menor que R_e , el valor medido R es una buena aproximación a la resistencia del electrodo bajo medición (E. Joffe & Lock, 2023).

1.1.16. Pinza amperimétrica

La *Figura 10* muestra una pinza amperimétrica con transformador de fuente y transformador de medida. El transformador de fuente impone una tensión en el bucle sometido a prueba y el transformador de medida mide la corriente resultante. La resistencia de tierra se determina a partir de estos valores de tensión y corriente (Chauvin Arnoux Ibérica, 2015). El principio básico de funcionamiento es similar al del método de dos puntos. En la figura, la resistencia de bucle medida comprende la resistencia de electrodo R_e en serie con la resistencia auxiliar R_a , que es una combinación paralela de otros electrodos. De nuevo, R_e sólo puede determinarse con precisión si R_a es comparativamente mucho menor (E. Joffe & Lock, 2023).

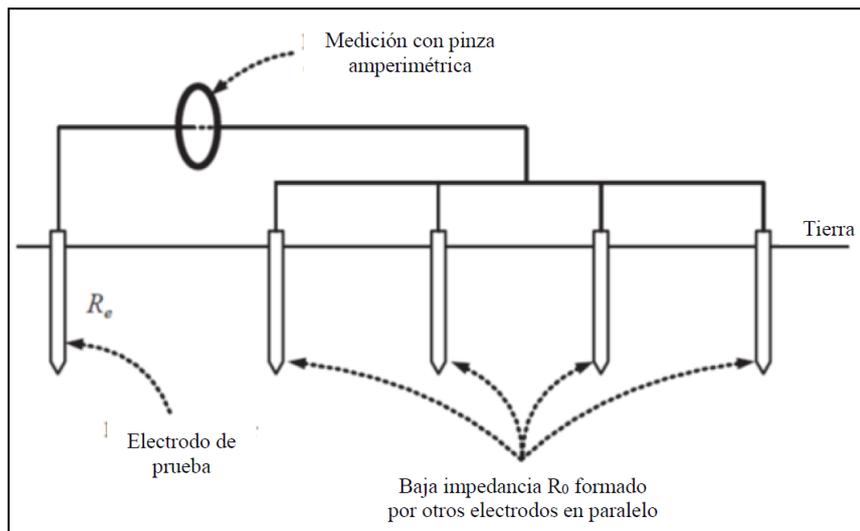


Figura 10. Método de la pinza para medir la resistencia de tierra

Fuente: (E. Joffe & Lock, 2023).

1.1.17. Medición de la resistividad del suelo

Es difícil determinar con exactitud la resistividad del suelo mediante análisis de laboratorio de muestras tomadas en un emplazamiento. Las muestras de suelo no pueden representar la composición real del suelo in situ (An et al., 2020). El suelo es bastante no homogéneo, con muchos tipos o diferentes capas de suelo comúnmente presentes en un lugar determinado. Además, las variaciones de humedad y temperatura afectan significativamente a la resistividad. La medición in situ es la única forma de obtener valores fiables de la resistividad del suelo (E. Joffe & Lock, 2023).

Normalmente en el lugar donde se va a instalar un pozo a tierra, se realiza un extenso trabajo geotécnico; esta labor, suele implicar una prospección geológica, que puede proporcionar una cantidad considerable de información sobre la naturaleza y la configuración del suelo, esos datos podrían ser de considerable ayuda para el diseño, se debe obtener por lo menos la siguiente información.

- Tipo de suelo en cada capa
- Contenido de humedad
- El pH del suelo

- Profundidad de las aguas subterráneas (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007).

Obtener aproximaciones útiles de la resistividad del suelo a partir de mediciones de resistividad de muestras es difícil y en algunos casos imposible, esto debido a la dificultad de obtener muestras de suelo representativas y homogéneas y a la dificultad de integrar la compactación original y el contenido de humedad (Committee of the IEEE Power & Society, 2012b).

La metodología para medir la resistividad del suelo es esencialmente la misma independientemente del propósito de la medición; sin embargo, la interpretación de los resultados puede variar significativamente, especialmente cuando se trata de suelos con resistividades variables; en este sentido, por una mayor complejidad debido a los suelos irregulares son comunes y sólo en unos pocos casos la resistividad del suelo permanece constante al aumentar la profundidad (Committee of the IEEE Power & Society, 2012b).

1.1.18. Método de dos puntos

La resistividad del suelo no contaminado en el sitio se puede aproximar con la resistividad del suelo suprayacente usando el método de dos puntos; el método consiste en un pequeño electrodo, ambos conectados a una varilla aislante, con el terminal positivo de la batería conectado al más pequeño y el terminal negativo conectado al otro mediante un miliamperímetro; el instrumento se puede calibrar para tomar lecturas directas del óhmetro. a voltaje nominal de celda; el dispositivo es fácilmente portátil y permite realizar una serie de mediciones en una pequeña cantidad de suelo durante un corto período de tiempo insertando electrodos en el suelo o en las paredes o el fondo del pozo. (Committee of the IEEE Power & Society, 2012b).

1.1.19. Método de los tres puntos

Es para realizar múltiples pruebas de resistencia del suelo, y cada vez que la profundidad de enterramiento del electrodo medido aumenta dentro de un cierto rango; el propósito de esto es forzar que pase más corriente a través del suelo; el valor de resistencia medido reflejará el cambio en resistividad al aumentar la profundidad; por lo tanto, el electrodo generalmente utilizado para la prueba es una varilla (Committee of the IEEE Power & Society, 2012b).

El método de cambio de profundidad proporciona información útil sobre las propiedades del suelo en las proximidades del poste (5 a 10 veces la longitud del poste); por lo tanto, si se debe estudiar una gran cantidad de suelo, es mejor utilizar el método los cuatro puntos porque no es práctico clavar un elemento largo (Committee of the IEEE Power & Society, 2012b).

Una desventaja de este método es que la varilla puede vibrar mientras es golpeada, resultando en un pobre contacto con el suelo a lo largo de su longitud, por lo tanto, haciendo difícil una conversión a la verdadera resistividad aparente (Committee of the IEEE Power & Society, 2012b).

1.1.20. Método de cuatro puntos

La técnica más común para determinar la resistividad del suelo consiste en inyectar una corriente conocida en un volumen determinado de suelo, medir la caída de tensión producida por la corriente a través del suelo y, a continuación, calcular la resistividad a partir de una ecuación predeterminada (Chauvin Arnoux Ibérica, 2015). Una determinación precisa de la resistividad del suelo puede llevarse a cabo mediante el método de medición de cuatro terminales, como se muestra en la *Figura 11*. Este es el método más preciso en la práctica para medir la resistividad media de grandes volúmenes de tierra. Se insertan pequeños electrodos a una profundidad b y espaciados en línea recta a intervalos a . Se hace circular una corriente de prueba I entre los dos electrodos exteriores y se mide el potencial V entre los dos electrodos interiores. Los terminales de potencial deben ser pequeños en relación con la sección transversal de la muestra de suelo y estar situados a suficiente distancia de los terminales de corriente para garantizar una distribución casi uniforme de la corriente a través de la muestra (Nor et al., 2006). Cuando todos los electrodos están igualmente espaciados y colocados en línea recta, el método se denomina disposición de Wenner. La relación V/I da la resistencia R en ohmios. Si la distancia entre dos electrodos adyacentes es a , entonces la resistividad en términos de las unidades de longitud en las que se miden a y b es:

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

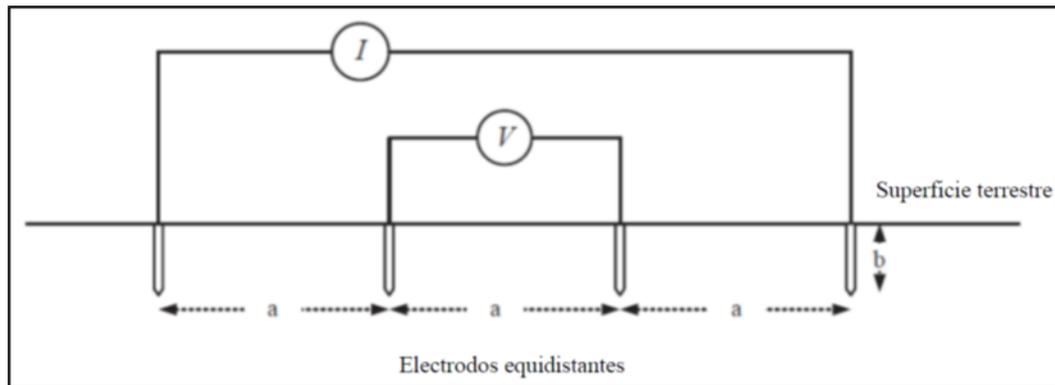


Figura 11. Método de cuatro puntos para medir la resistencia de tierra

Fuente: (E. Joffe & Lock, 2023).

A menudo se utilizan dos variaciones diferentes del método de cuatro puntos:

Cabe señalar que esto no se aplica a las varillas de tierra conducidas a la profundidad b ; se aplica sólo a los pequeños electrodos enterrados a la profundidad b (Committee of the IEEE Power & Society, 2012b), con cables de conexión aislados; sin embargo, en la práctica, cuatro barras se colocan normalmente en línea recta a intervalos a , conducidas a una profundidad no superior a $0,1 a$, entonces asumimos que $b = 0$ y la fórmula se convierte:

$$\rho = 2\pi aR \quad (3)$$

1.1.21. Arreglo de Schlumberger Palmer o de espaciamiento desigual

Un defecto del método Wenner es la rápida disminución de la magnitud del potencial entre los dos electrodos internos cuando se aumenta su espaciamiento a valores relativamente grandes; a menudo los instrumentos comerciales son inadecuados para medir un potencial tan bajo de valores; entonces, para poder medir las resistividades con grandes distancias entre los electrodos de corriente, la disposición que se muestra en la Figura 12 puede utilizarse con éxito; las posibles sondas se acercan a los correspondientes electrodos y esto aumenta el valor potencial medido (Committee of the IEEE Power & Society, 2012b).

La fórmula que se utiliza en este caso puede determinarse fácilmente, si la profundidad de enterramiento de los electrodos b es pequeña comparada con su separación d y c ,

entonces la resistividad medida puede ser calculada por (Committee of the IEEE Power & Society, 2012b):

$$\rho = \frac{\pi c(c+d)R}{d} \quad (4)$$

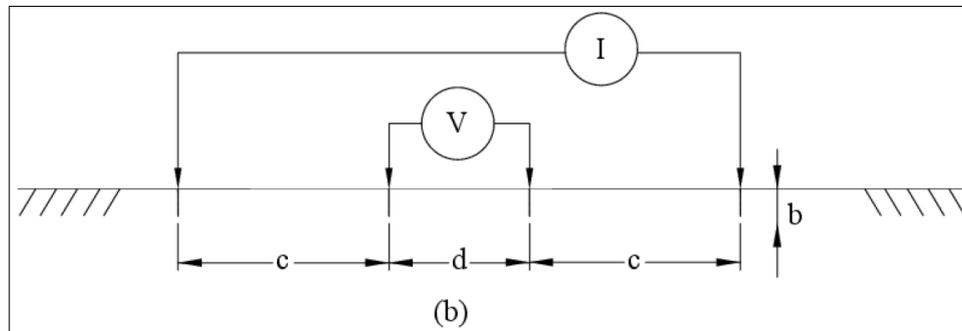


Figura 12. Sistema Asimétrico

Fuente: (Committee of the IEEE Power & Society, 2012b)

1.1.22. Estiércol de alpaca

El altiplano andino es una región de más de 100.000 km² situada entre el suroeste de Bolivia y el sur de Perú (15-22 latitud S, 65-72 longitud O). La altitud de la región oscila entre 3000 y 4000 m sobre el nivel del mar. La población, principalmente rural, sigue dependiendo en gran medida de los combustibles tradicionales, como la leña, los desechos animales y los residuos agrícolas. Las explotaciones ganaderas albergan llamas, alpacas, vacas y ovejas (Alvarez et al., 2006).

El estiércol de alpaca tiene las siguientes características químicas: pH 7.96, Nitrógeno (N) 1.98%, óxido de fósforo (P₂O₃) 1.09 %, óxido potasio (K₂O) 2.07%, óxido de calcio (CaO) 5.29 %, óxido de magnesio (MgO); de acuerdo, al análisis realizado en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Hinostroza, 1994).

1.1. Antecedentes

Un sistema de puesta a tierra creará un camino para que los transitorios se dispersen de forma segura en la tierra proporcionando una trayectoria de menor resistencia. Esto se puede hacer fácilmente usando materiales naturales o químicos (Ahmad et al., 2010). Se realiza una prueba de campo al aire libre para investigar el efecto del relleno conductor en la reducción de la resistencia de puesta a tierra de los impulsos eléctricos (Hu et al., 2012b). Se ha desarrollado una técnica con Bentonita, una arcilla que consiste en un

mineral, es un excelente relleno conductor. Si se le añade ofrece una reducción de la resistencia de hasta un 36% por varilla (Jones, 1979). La bentonita es un material arcilloso conductor de baja resistencia que retiene el agua. de tierra, sobre todo en entornos problemáticos (Syafiqah Mohd Azmi et al., 2021). También se analizaron los datos de un nuevo ensayo de impulso utilizando arcilla y arena húmedas mezcladas con cantidades controladas de sodio (NaCl) para obtener un rango de materiales de baja resistividad (Nor et al., 2006). Haciendo que el conductor de puesta a tierra penetre en la capa de suelo de baja resistividad podría ayudar a disminuir la subida potencial del suelo en el punto de inyección varias veces (Liu et al., 2004). La resistencia de la puesta a tierra de los impulsos disminuye de aproximadamente 25% a 45% cuando se utiliza las cubiertas con materiales de baja resistividad (Tu et al., 2006). Con el fin de estudiar el efecto a largo plazo del uso de "compuestos mejoradores de tierra" en conjunto con varios electrodos de tierra, se inició en 2007 un proyecto común entre el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y la Compañía Mexicana de Electricidad (CFE) (Galvan et al., 2010).

Determinar la relación entre la resistividad eléctrica del suelo y sus propiedades geotécnicas es un importante problema de ingeniería (Alsharari et al., 2020). En la actualidad, la resistencia de puesta a tierra relacionada de cerca con la resistividad ambiental del suelo (Zhang et al., 2020). La estructura del suelo se determina en base a las mediciones de resistividad del suelo (Kontargyri et al., 2015). Se discute la influencia de las características de la tierra, el tamaño de los conductores enterrados, y la forma e intensidad de la onda de la corriente (Mazzetti & Giuseppe, 1983). Es bien sabido que la mayor parte de la subida de potencial de la varilla de puesta a tierra es determinada por la resistividad del suelo que rodea la varilla de puesta a tierra y la magnitud de la corriente aplicada (Androvitsaneas et al., 2012). Los valores de Tierra medida se comparan las distribuciones de resistencia/impedancia y de potencial de la superficie del agua con las obtenidas de los cálculos analíticos y las simulaciones numéricas detalladas por ordenador (Guo et al., 2010). El modelo habitual de resistividad del suelo tiene sus limitaciones en la obtención de características precisas del suelo debido a las interrelaciones entre la resistividad eléctrica aparente del suelo (ρ) y otras propiedades físicas o químicas del suelo. Por lo tanto, en la mayoría de los suelos con capas variables, el perfil de resistividad multicapa es más adecuado para obtener características del suelo cercanas a la superficie (Islam & Chik, 2013). El método geofísico eléctrico es una de estas técnicas que permite medir rápidamente las propiedades eléctricas del suelo, como

la resistividad eléctrica, la conductividad eléctrica directamente desde la superficie del suelo hasta cualquier profundidad sin alterar el resultado (Mostafa et al., 2018). A medida que continúa la evaporación, la resistencia eléctrica del suelo resistencia eléctrica del suelo aumenta exponencialmente con la disminución del contenido de agua (An et al., 2020). En consecuencia, la resistencia del suelo de los sistemas de pequeñas dimensiones puede variar significativamente y comprometer el rendimiento de los sistemas de protección contra el rayo (Coelho et al., 2015).

El rendimiento de los sistemas de puesta a tierra se investiga en base a sus formas de tensión y corriente, los valores de resistencia de pre y post ionización de la tierra y los retardos de tiempo (Mohamad Nor et al., 2013a). La resistencia de auto conexión a tierra depende en gran medida de la dimensión de la varilla y de la resistividad del suelo para las corrientes bajas como es analíticamente bien conocido (Sekioka et al., 2005a). La resistencia de tierra, la tensión de la superficie de tierra y la tensión de paso disminuyen a medida que aumenta la profundidad de la varilla de tierra enterrada (Chen et al., 2008b).

Son todos los antecedentes encontrados en los diferentes niveles, puesto que el estiércol de alpaca no ha sido utilizado como insumo en los sistemas de puesta a tierra.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema

La resistencia de la conexión a tierra es uno de los más básicos e importantes factores para el análisis de las fallas en el sector eléctrico y afecta a la tasa de interrupción por sobrecargas en los sistemas de distribución (Sekioka et al., 2005b). El tipo de suelo juega un papel importante en la determinación del valor de resistencia de la conexión a tierra, debido a su alta resistividad posible del suelo, o su particularmente ambiente corrosivo (Androvitsaneas et al., 2016). La resistencia de puesta a tierra está estrechamente relacionada con la resistividad del suelo (Zhiwei & Zhao, 2012b). La resistencia depende en gran medida de la dimensión de la varilla y de la resistividad del suelo (Sekioka et al., 2005b). La resistividad de la tierra varía no sólo con el tipo de suelo, sino también con la temperatura, la humedad, las condiciones minerales, el clima y la compactación (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007). Los sistemas de puesta a tierra se comportan de manera diferente cuando la resistencia de la tierra no es lineal, debido a procesos térmicos y de ionización (Mohamad Nor et al., 2013a). La ionización del suelo como el aumento en el tamaño del conductor de tierra, tiene una influencia beneficiosa, especialmente en suelos de alta resistividad (Liu et al., 2004). Por otra parte, la humedad tiene influencia en la resistencia del suelo depende no sólo de las características de la capa superior, sino también de la resistividad de las capas más profundas, y en la resistividad aparente depende tanto del tamaño del sistema de puesta a tierra como de las características del suelo (Coelho et al., 2015). El sistema de puesta a tierra debe tener una impedancia y una capacidad de transporte de corriente suficientemente bajas para evitar la acumulación de tensiones que puedan dar lugar a un indebido peligro para los equipos conectados y para las personas (Hu et al., 2012b). Debe ser diseñado con "cero

impedancias" para proporcionar una descarga efectiva de las corrientes de falla y para evitar el aumento potencial en y alrededor de la instalación (Mohamad Nor et al., 2013b). Se diseña para garantizar la seguridad del equipo, el personal y el sistema mismo, proporcionando el camino más bajo de impedancia para que las corrientes de falla se dispersen en la tierra en el tiempo más corto posible (Ahmad et al., 2010). Para lograr una protección adecuada, es esencial implementar procedimientos técnicos para asegurar no sólo que los valores de resistencia del suelo medidos durante la implementación del sistema de puesta a tierra estén dentro de los límites establecidos por las normas, sino también que se mantengan dentro de estos límites (Coelho et al., 2015). Se aplican algunos métodos en la práctica ingeniería para reducir la resistencia de la puesta a tierra. Entre ellas el relleno conductivo alrededor de los dispositivos de puesta a tierra es ampliamente utilizado (Hu et al., 2012a). El uso de compuestos mejoradores de tierra puede disminuir la resistencia de tierra y la impedancia de los sistemas a niveles muy bajos, de modo que las corrientes altas puedan dispersarse en la tierra de forma segura (Androvitsaneas et al., 2016). La falta de ionización del terreno crea terrenos de alta resistencia eléctrica que perjudica la protección contra las descargas eléctricas que someten a los sistemas de energía y a las instalaciones eléctricas a corrientes y voltajes transitorios de gran magnitud, que pueden dañar irreparablemente el equipo eléctrico y poner en grave peligro la seguridad humana.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es evaluar el comportamiento del estiércol de alpaca en la ionización de los sistemas de puesta a tierra; en ese sentido, esta investigación se realiza porque este recurso natural existe en las zonas altoandinas de nuestra región; en donde, también se registran descargas atmosféricas constantes en época de lluvia causando pérdidas de vidas humanas y de animales principalmente; por otra parte, al ser un recurso natural orgánico, este es amigable con el medio ambiente, podemos decir, que la utilización del estiércol de alpaca, tiene un impacto ambiental positivo en comparación con compuestos mejoradores artificiales.

2.1.1. Descripción de la realidad problemática

Los sistemas de puesta a tierra son fundamentales en instalaciones eléctricas de potencia, control, medicina, comunicaciones y otros; y sobre ellos se soportan gran cantidad de premisas como seguridad, confiabilidad, calidad, etc. (Lozano, 2014). Deben ser capaces de tolerar corrientes de cortocircuito durante el tiempo

transcurrido entre el momento de la falla y la actuación de las protecciones, sin deteriorar sus propiedades mecánicas ni eléctricas, también deben ser capaces de drenar corrientes a tierra, provenientes de eventos transitorios, tales como, descargas atmosféricas o sobretensiones, sin producir diferencias de potencial significativas que puedan ocasionar el deterioro prematuro de equipos y sistemas eléctricos (Acevedo et al., 2005). Los aditivos, proporcionan una buena conducción eléctrica, pero con una corta vida útil del sistema de puesta a tierra (Salinos et al., 2015). Así mismo, un diseño apropiado de la puesta a tierra para una estructura debe lograr una impedancia de puesta a tierra reducida y una distribución de potencial que no resulte peligrosa para personas y semovientes que se encuentren en el suelo cercano a la torre (Acevedo et al., 2005). Por lo tanto, se pretende la utilización del estiércol de alpaca como compuesto mejorador de la resistencia del pozo a tierra.

2.1.2. Territorio

El sector del estudio se encuentra ubicada en el departamento de Puno, provincia del Collao, a una altitud entre los 4 100 msnm (Mazo Cruz) y 4 400 msnm (Capazo-Ilave), con clima frío, se caracterizada por descargas atmosféricas, vientos fuertes e intensas lluvias de diciembre a marzo, con vegetación escasa. Las características ambientales a lo largo de la línea son las siguientes:

- Temperatura media mínima : - 4 ° C
- Temperatura media : 7 ° C
- Temperatura media máxima : 14 ° C
- Precipitación total : 567 mm.

Las vías de acceso principales con las que cuenta la zona del proyecto son las siguientes:

Vía Terrestre: se cuenta con las siguientes carreteras

- Vía terrestre: Lima – Ica – Arequipa – Puno – Ilave - Mazo Cruz.
- Vía Aérea: Lima -Juliaca.

2.2. Enunciados del problema

De acuerdo a lo descrito nos planteamos la siguiente interrogante:

2.2.1. Enunciado general

- ¿Cómo influye el estiércol de alpaca en la ionización de los sistemas de puesta a tierra?

2.2.2. Enunciados específicos

- ¿Cómo mejora la resistencia del sistema de puesta a tierra, con el estiércol de alpaca?
- ¿Cuál es la influencia de la resistividad del terreno en la resistencia del sistema de puesta a tierra?

2.3. Justificación

En el diseño y cálculo del sistema de puesta a tierra se debe verificar ciertos requisitos contenidos en normas obligatorias para la resistencia de puesta a tierra y también para los potenciales de paso y contacto (Faleiro et al., 2022). Un aspecto crítico en las instalaciones eléctricas, es la seguridad, especialmente en situaciones de fallo para evitar descargas eléctricas (Guizán et al., 2022). Cuando se produce un cortocircuito, la corriente alterna se disipa a tierra y la corriente axial que fluye a través de la resistencia y la inductancia de un conductor genera una caída de tensión en el conductor y una caída de tensión por inductancia mutua en los demás conductores, el sistema de puesta a tierra ya no es equipotencial (Zhiwei & Zhao, 2012b). Para lograr una protección adecuada, es esencial implementar procedimientos técnicos para asegurar no sólo que los valores de resistencia del suelo medidos durante la implementación del sistema de puesta a tierra estén dentro de los límites establecidos por las normas, sino también que se mantengan dentro de estos límites (Coelho et al., 2015). Se aplican algunos métodos en la práctica ingeniería para reducir la resistencia de la puesta a tierra, entre ellas el relleno conductivo alrededor de los dispositivos de puesta a tierra es ampliamente utilizado (Hu et al., 2012a).

En ese sentido el presente proyecto de tesis se justifica en cuanto es necesario comprobar la influencia del estiércol de la alpaca en el tratamiento de los pozos a tierra.

Justificación ambiental: En el tratamiento de la puesta a tierra utilizando el estiércol de la alpaca en los pozos a tierra favorecemos la protección ambiental al utilizar un producto orgánico disponible en las zonas altiplánicas.

Justificación económica: El costo del recurso es mucho menor en comparación con los tratamientos químicos, porque se dispone en la zona de influencia.

Justificación social: El beneficio social es en relación con el sistema de protección mediante el sistema de puesta a tierra principalmente para la seguridad de las personas y los sistemas eléctricos contra las descargas atmosféricas.

En el tratamiento de la puesta a tierra utilizando el estiércol de la alpaca en los pozos a tierra favorecemos la protección ambiental al utilizar un producto orgánico disponible en las zonas altiplánicas. Respecto a la cantidad de antecedentes se justifica el motivo de la cantidad de citas en la misma sección y a su vez fue aprobado con la cantidad indicada, puesto que el estiércol de alpaca no ha sido utilizado como insumo en los sistemas de puesta a tierra.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo General

- Evaluar la influencia del estiércol de alpaca en la ionización de los sistemas de puesta a tierra.

2.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la resistividad del terreno en cada estrato de la ubicación del electrodo.
- Medir la resistencia del sistema de puesta a tierra tratado con estiércol de alpaca.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis General

- El Estiércol de Alpaca mejora la resistencia del sistema de puesta a tierra.

2.5.2. Hipótesis Específicas

- La resistividad del terreno está estrechamente relacionada con la resistencia de puesta a tierra.
- La resistencia del sistema de puesta a tierra, mejora con el estiércol de alpaca. En consecuencia, a mayor distancia la resistencia aumenta hasta un nivel de saturación.

2.5.3. Variables

a) Independientes:

- Composición de los estratos del suelo donde se ubica la varilla.
- Método de mejoramiento del sistema a tierra con estiércol de alpaca.

b) Dependientes:

- Resistencia del pozo a tierra

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio

La zona del estudio está ubicada en la región de Puno, Provincia El Collao, distrito de Santa Rosa de Mazo Cruz, en la región sierra. Geográficamente se localiza entre las coordenadas UTM (WGS84) -16.742609 m E, -69.715976 m S a una altitud promedio de 4400 m.s.n.m.

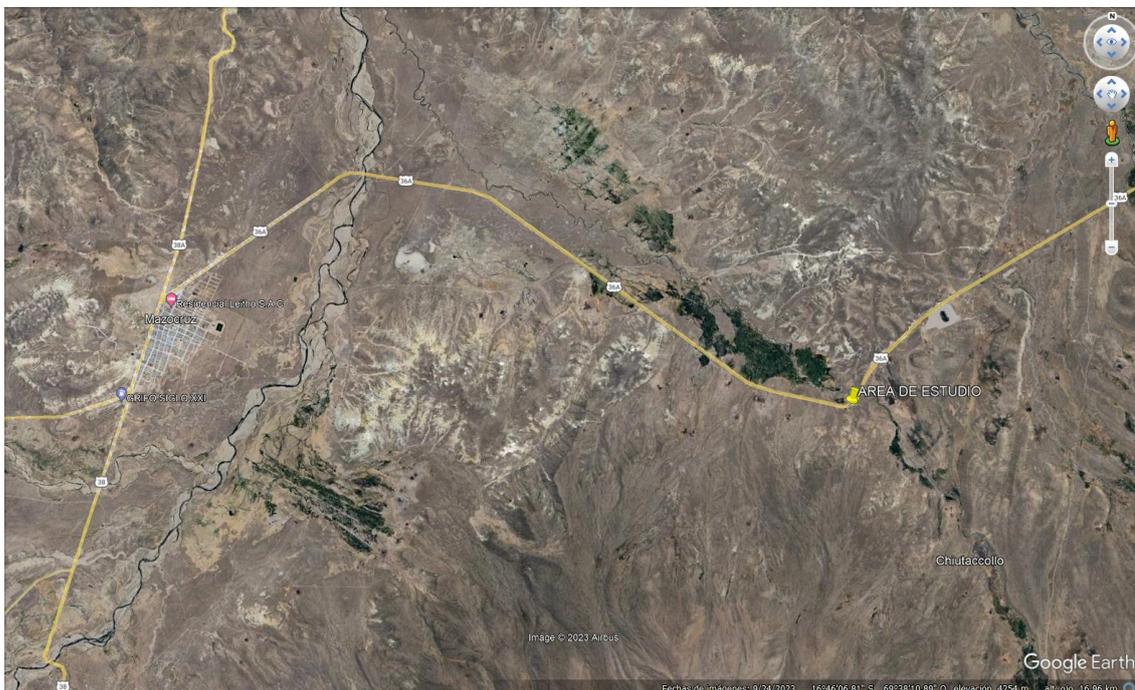


Figura 13. Santa Rosa de Mazo Cruz

Fuente: Google Earth.

3.2. Población

En la presente investigación, el tamaño de la población de estudio esta, conformadas por los pozos a tierra ubicados en el distrito de Santa Rosa de Mazo Cruz.

3.3. Muestra

Para la presente investigación, la muestra esta, conformada por los pozos a tierra tratados con estiércol de alpaca, ubicados en el distrito de Santa Rosa de Mazo Cruz.

3.4. Método de investigación

3.4.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación del proyecto denominado: Evaluación del comportamiento del estiércol de alpaca en la ionización de los sistemas de puesta a tierra, para cada objetivo específico es del tipo no experimental, transversal, descriptivo; en ese sentido, la toma de datos es del tipo longitudinal, correlacional, causal (Hernández-Sampieri et al., 2014). Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a análisis; es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren (Hernández-Sampieri et al., 2014). Los estudios correlacionales tienen como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular; es decir, en ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio relaciones entre tres, cuatro o más variables (Montgomery, 2004).

Es un enfoque cuantitativo porque según lo mencionado por Hernandez – Sampiere (2014), es un estudio secuencial y probatorio; es decir, cada etapa precede a la siguiente y no podemos brincar o eludir pasos, el orden es riguroso, aunque, desde luego, podemos redefinir alguna fase; en ese sentido, parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica.

De acuerdo a lo descrito el presente estudio se contextualiza dentro la investigación cuantitativa, correlacional, descriptiva.

3.4.2. El método propuesto

El objetivo del método propuesto es evaluar el comportamiento del estiércol de alpaca en la ionización de los sistemas de puesta a tierra, para mejorar la resistencia del pozo a tierra. El método se divide en dos pasos. El primer paso es el modelamiento eléctrico del terreno mediante la técnica siguiente: Medición de la resistividad del terreno con el equipo de medición de 4 polos calibrado para este aspecto y la modelación del terreno mediante la aplicación de la técnica estadística BOX-COX. Estas técnicas se utilizan para adquirir determinar la resistividad de diseño del terreno (Montgomery, 2004). En la segunda parte realizamos las mediciones de los pozos a tierra, en primer lugar, medimos el pozo sin tratamiento utilizando para ello el equipo de medición llamado telurómetro debidamente calibrado; en segundo lugar, realizamos la medición del pozo tratado con estiércol de alpaca, para ambos casos utilizamos la técnica denominada caída de potencial. El objetivo de esta fase es evaluar cómo mejora la resistencia del pozo a tierra tratado con estiércol de alpaca. Todas las técnicas utilizadas en este método contribuyen a la realización del siguiente, es decir, se desarrollan de forma integrada, con el objetivo de obtener resultados óptimos. Los siguientes puntos en esta sección están dedicados a la descripción detallada de cada paso realizada.

3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

De acuerdo a los objetivos específicos establecidos en la presente investigación denominada: Evaluación del comportamiento del estiércol de alpaca en la ionización de los sistemas de puesta a tierra, tenemos lo siguiente:

3.5.1. Determinación de la resistividad del terreno

De acuerdo a lo recomendado por la norma IEEE Std 81-1983, para estimar la resistividad del terreno utilizamos el método de los cuatro puntos y la disposición de espacios equidistantes también conocidos como el método de Wenner (Committee of the IEEE Power & Society, 2012b).

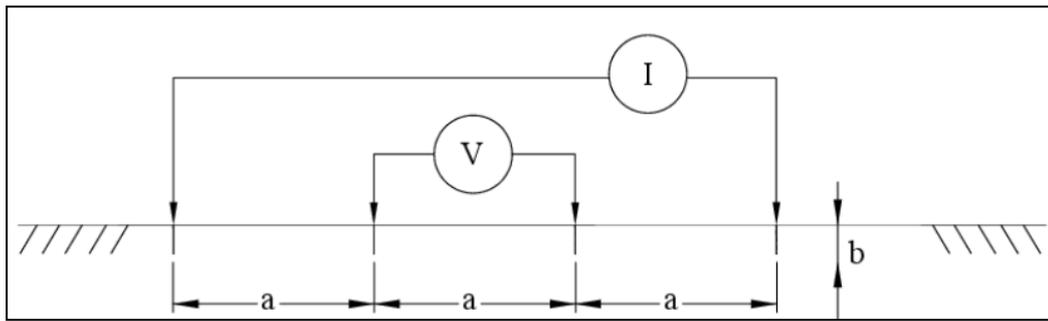


Figura 14. Método de los cuatro puntos

Fuente: (Committee of the IEEE Power & Society, 2012b)

Se instala el circuito como se ilustra en la figura:

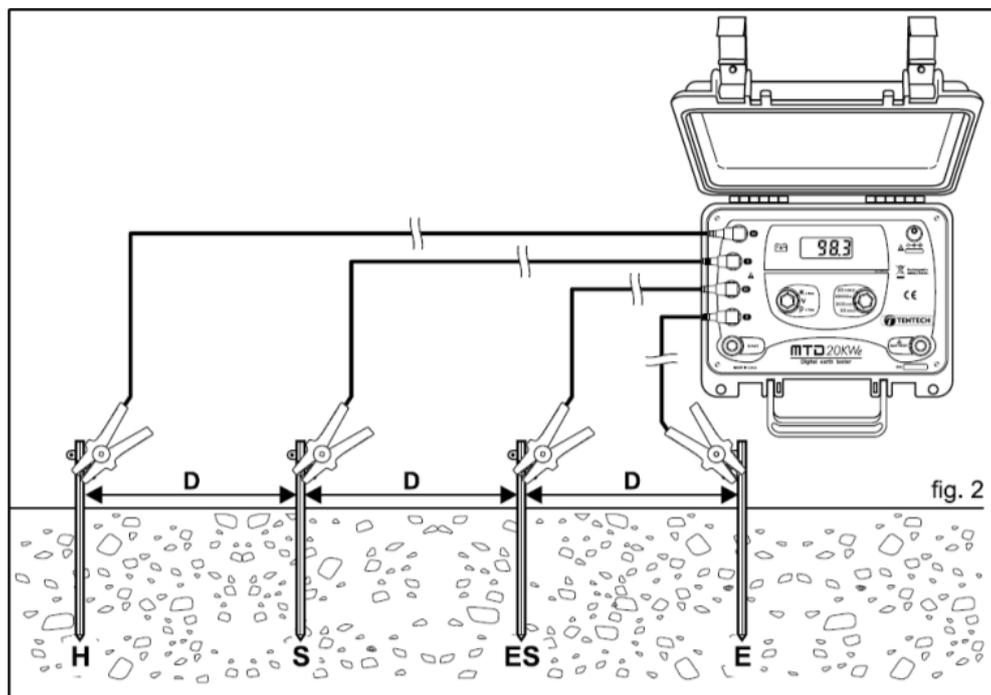


Figura 15. Conexión del equipo medida de la resistividad

Fuente: Manual MEGABRAS MTD-20KWe

Entonces, la resistividad en términos de las unidades de longitud en las que se miden a y b de la Figura 14 es: (Committee of the IEEE Power & Society, 2012b)

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (4)$$

Separación entre electrodos [m]	Resistividad [Ω -m]	$X_i = \ln(\rho_{ai})$	$(X_i - x)^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - x)^2}{n}}$	$\rho = e^{(S \cdot Z) + \text{Ln}(\rho)_{prom}}$
---------------------------------	-----------------------------	------------------------	---------------	---	---

Figura 16. Conexión del equipo medida de la resistividad

En la Figura 16. Muestra los encabezados de las tablas que serán completadas con la información que se obtenga de las medidas y cálculos a realizarse, para deducir la resistividad del suelo, en el lugar donde se realizó el experimento; los otros datos serán calculados en gabinete.

3.5.1.1. Determinación del modelo de terreno

Para asemejar el suelo heterogéneo a un modelo de suelo homogéneo se aplicó una transformación BOX-COX, la cual permitió calcular valores de resistividad con una probabilidad no mayor al 70%.

El valor de la resistividad del modelo se calcula siguiendo el procedimiento siguiente:

$$\rho_a = \frac{\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}}{n} \quad (\Omega.m) \quad (5)$$

Donde:

$\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}$: Resistividad aparente a diferentes profundidades.

n : Número de mediciones.

Calculamos los logaritmos naturales.

$$X_i = \ln(\rho_i) \quad (6)$$

ρ_i : resistividad aparente.

Se calcula el promedio x :

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} X_i}{n} \quad (7)$$

X_i : Logaritmo natural de la resistividad.

Calculamos la desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - x)^2}{n}} \quad (8)$$

x : Media del grupo de datos X_i .

Encontramos la resistividad.

$$\rho = e^{(S*Z)+x} (\Omega. m) \quad (9)$$

De la distribución normal tomamos el valor de Z con una probabilidad del 70%.

$$Z = 0.524411 \quad (10)$$

Finalmente tenemos que:

$$\rho = e^{(S*0.524411)+x} (\Omega. m) \quad (11)$$

Los resultados se registrarán con el encabezado descrito en la *Figura 17*:

Resistividad [Ω-m]	$X_i = \ln(\rho_{ai})$	$(X_i - x)^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - x)^2}{n}}$	$\rho = e^{(S \cdot Z) + \ln(\rho)_{prom}}$
------------------------------	------------------------	---------------	---	---

Figura 17. Modelado resistividad del suelo

3.5.1.2. Cálculo de la Resistencia del sistema de puesta a tierra

La resistencia de la varilla enterrada para suelo uniforme se calcula mediante:
(IEEE-Std-81TM-2012, 2012)

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{r} \quad (12)$$

O en función de las aproximaciones utilizadas.

$$R = \frac{\rho_2}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r_1} - 1 \right) \quad (13)$$

Es la relación matemática para evaluar la resistencia de un electrodo cilíndrico y vertical (Galvan et al., 2010).

En donde:

R: Resistencia de tierra en Ohmios

ρ : Resistividad del suelo en Ohmios metro

r : Radio del electrodo.

l : Longitud de la varilla metros.

Resistencia de Puesta a Tierra (R)			
Trayectoria	Longitud del electrodo (L)	Radio del electrodo (r)	Resistividad de diseño (ρ_2)
$R = \frac{\rho_2}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r_1} - 1 \right)$			

Figura 18. Resistencia teórica

La Figura 18, es una propuesta de cómo se presentarán los valores medidos y calculados en campo según la trayectoria. Siendo esta la propuesta de encabezado de la tabla de resultados.

3.5.2. Medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra tratado con estiércol de alpaca

Para realizar la medición del sistema de puesta a tierra tomamos en cuenta el método de la caída de potencial establecido en la norma técnica

3.5.2.1. El método de caída de potencial

El método consiste en hacer circular una corriente entre un electrodo de tierra (G) y una sonda de corriente (CP) y, a continuación, medir la tensión entre G y una sonda de potencial (PP), como se muestra en la figura (Committee of the IEEE Power & Society, 2012a).

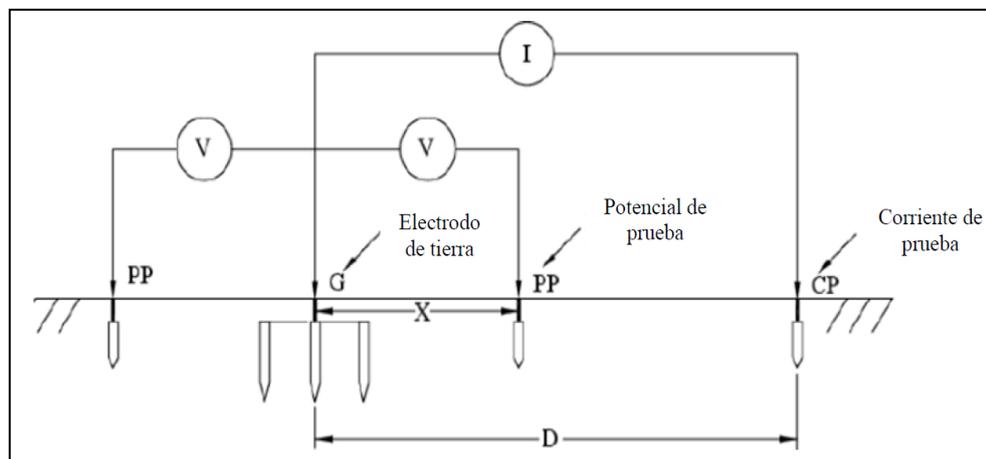


Figura 19. Conexión del equipo de medición de la resistencia

Fuente: (Committee of the IEEE Power & Society, 2012b)

En la práctica, la distancia "X" para la sonda de potencial suele ser el 62% de la distancia de la sonda de corriente cuando las sondas de corriente y de potencial están en la misma dirección (regla del 62%). Esta distancia se basa en la posición teóricamente correcta para la medición de la impedancia del electrodo para un suelo con resistividad uniforme.

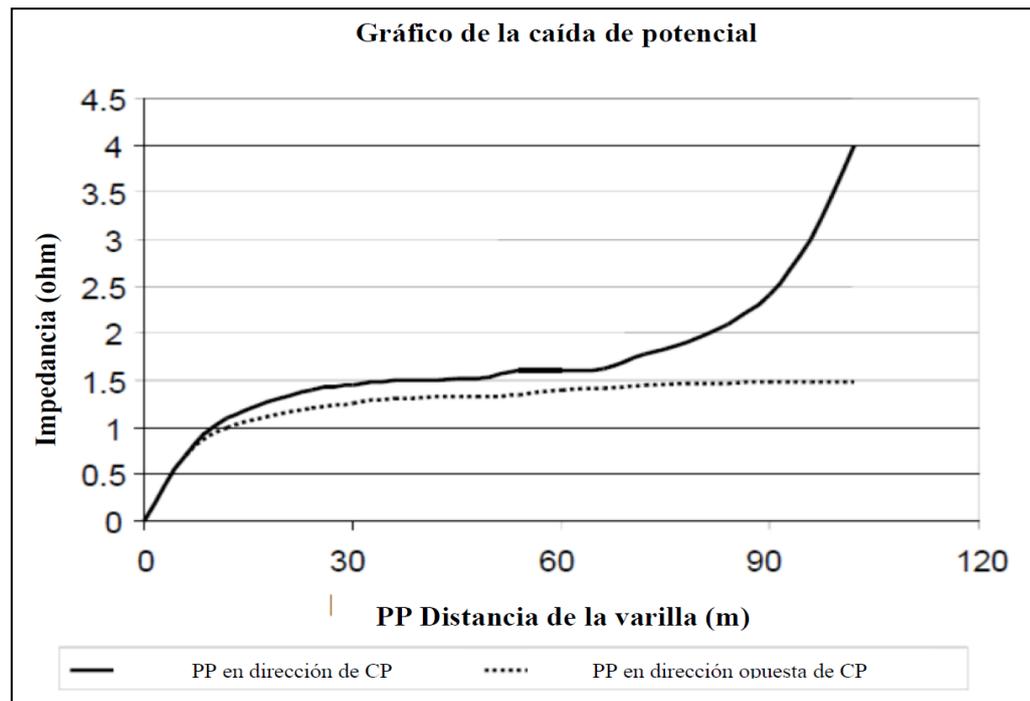


Figura 20. Impedancia típica frente a la distancia

Fuente: (Committee of the IEEE Power & Society, 2012b)

La secuencia de medición es la siguiente:

Conectar la varilla bajo prueba a los terminales C1 y P1.

- a) Llevar la varilla de corriente C (conductor rojo), alejado como sea posible del electrodo bajo prueba E (conductor verde). Conectar esta varilla al terminal C2 del equipo.
- b) Llevar la varilla de potencial P (conductor amarillo), a la mitad entre E y C, sobre la línea que les une. Conectar el cable de esta varilla al terminal P2 del medidor de tierras.
- c) Realizar la medida, siendo ésta la resistencia R1.
- d) Instalar la varilla (P) a una distancia del 40% de EC desde E y tomar una segunda lectura, (R2).

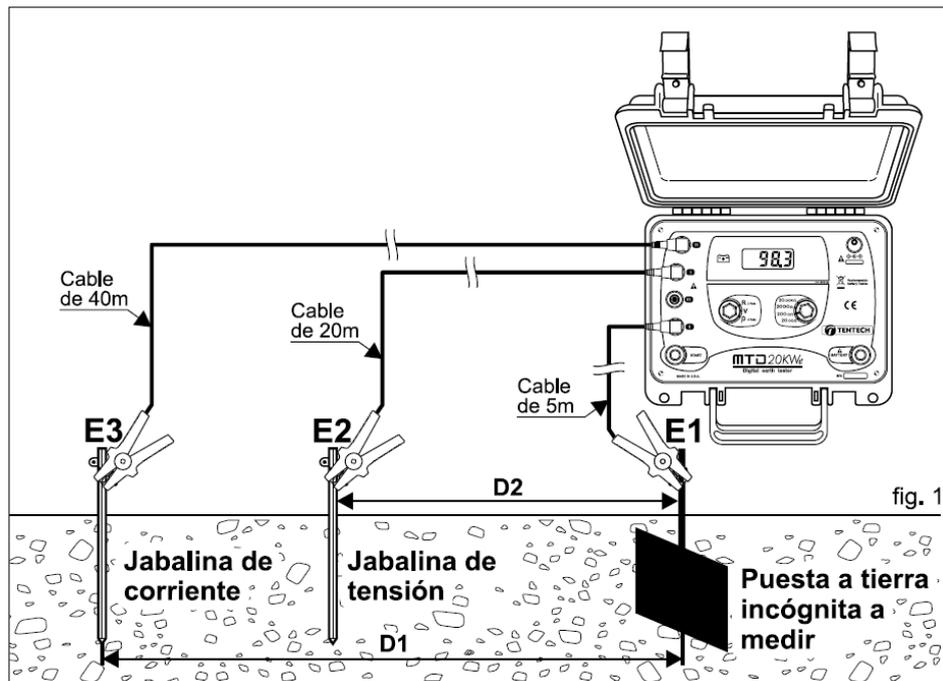


Figura 21. Esquema de conexión medición de la resistencia

Fuente: Manual MEGABRAS MTD-20KWe

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo a la metodología planteada para el presente estudio tenemos los resultados por cada objetivo específicos. Se analizan los datos obtenidos que son las mediciones de la resistividad eléctrica del terreno y la resistencia de los pozos sin tratamiento y con tratamiento.

4.1. Determinación de la resistividad del terreno

4.1.1. Descripción del caso de estudio

Se realiza las mediciones de la resistividad eléctrica del terreno correspondiente al primer objetivo esto se realiza en sentido norte y este. A partir de las instalaciones de los pozos a tierra se realiza las mediciones de la resistencia de los pozos tanto sin tratar y con tratamiento con estiércol de alpaca para poder comprobar su influencia en el mejoramiento de la resistencia, que es el caso de estudio.



Figura 22. Medición de la resistividad trayectoria N°1 norte

4.1.2. Estimación de la resistividad

Con el método de Wenner y la disposición de espacios equidistantes conocido como el método de los cuatro puntos procedemos a realizar la estimación de la resistividad.

Se procede de la manera siguiente:

- Se instala cuatro electrodos (picas), en línea y con separación D constante.
- Se clavan a 30 cm de profundidad y
- Se separa 1 m al inicio, aumentando esta distancia gradualmente en 2, 4, 8 y 16 m, entre cada pica.
- Se conectan los cables a los terminales y picas

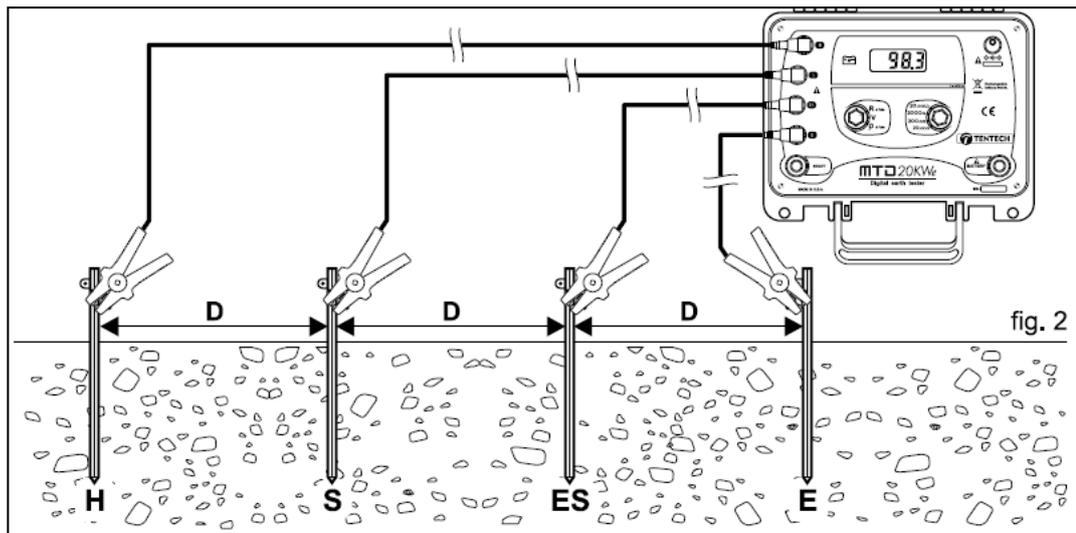


Figura 23. Esquema de instalación método Werner

Fuente: Manual Megabras MTD-20KWe.

Los cables se instalan al equipo como sigue:

- Conductor de la varilla 1 al punto H.
- Conductor de la varilla 2 al punto S.
- Conductor de la varilla 3 al punto ES.
- Conductor de la varilla 4 al punto E.



Figura 24. Medición de la resistividad método Werner

Se toma la medida y realizamos el cálculo de acuerdo al método establecido.

Trayectoria N°01 (Norte)

Para la trayectoria N°1 (norte), tenemos los datos siguientes y utilizando la siguiente formula tenemos lo siguiente:

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

a : Distancia entre picas, para este caso es 1 m.

b : Profundidad de la pica, para todos los casos es 0.3 m.

R : Medida del instrumento, para este caso es 25.4 Ohmios.

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 25.4}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 \times 0.3^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.3^2}}} = 181.65 \Omega \cdot m$$

Resumimos los resultados en la Tabla 6:

Tabla 3

Resistividad del terreno trayectoria norte

Trayectoria	Lectura del instrumento R (Ω)	Distancia a (m)	Profundidad b (m)	$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$
1	25.4	1	0.3	181.65
	11.9	2	0.3	155.23
	5.6	4	0.3	142.12
	2.7	6	0.3	102.23
	0.86	8	0.3	43.33
	0.76	16	0.3	76.45

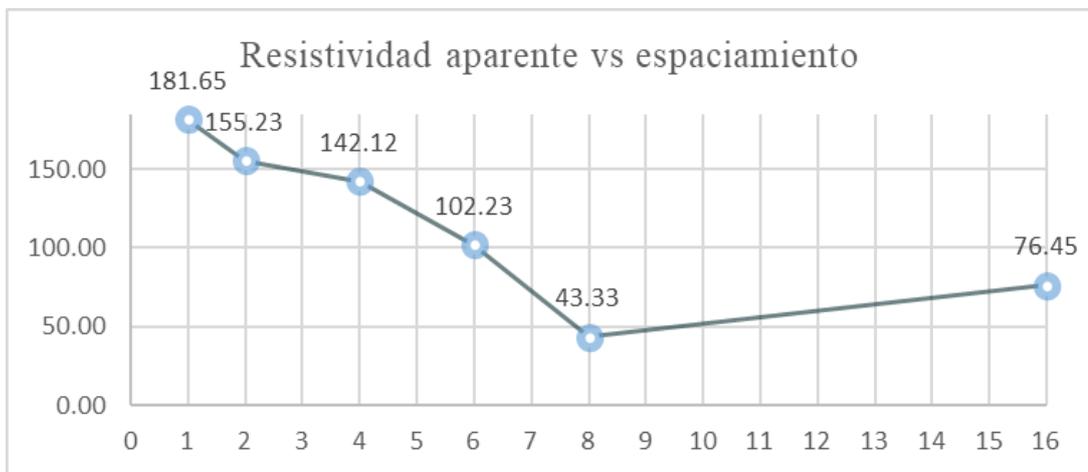


Figura 25. Resistividad aparente vs espaciamento trayectoria N°1 norte

Trayectoria N°02 (Este)

Para la trayectoria N°2, seguimos el mismo procedimiento realizado para la trayectoria N°1, entonces con los datos obtenidos tenemos lo siguiente:

a : Distancia entre picas, para este caso es 1 m.

b : Profundidad de la pica, para todos los casos es 0.3 m.

R : Medida del instrumento, para este caso es 14.8 Ohmios.

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 14.8}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 \times 0.3^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.3^2}}} = 105.84 \Omega \cdot m$$

Los demás cálculos se registran en la siguiente tabla:

Tabla 4

Resistividad del terreno trayectoria este

Trayectoria	Lectura del instrumento R (Ω)	Distancia a (m)	Profundidad b (m)	$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$
2	14.80	1	0.3	105.84
	8.1	2	0.3	105.66
	3.5	4	0.3	88.82
	2.21	6	0.3	83.68
	1.26	8	0.3	63.49
	0.84	16	0.3	84.50



Figura 26. Resistividad aparente vs espaciamiento trayectoria este



Figura 27. Medición de la resistividad trayectoria N°2 este

4.1.2.1. Determinación del modelo de terreno

Con las medidas de resistividad obtenidas en campo, aplicando el método estadístico BOX-COX se obtiene un modelo de resistividad uniforme del suelo.

El valor promedio de las resistividades medidas, es el siguiente:

$$\rho_a = \frac{\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}}{n} (\Omega \cdot m)$$

En donde:

$\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}$: Mediciones de resistividad aparente.

n : 6 mediciones.

$$\rho_a = \frac{181.65 + 155.23 + 142.12 + 102.23 + 43.33 + 76.45}{6} (\Omega \cdot m)$$

$$\rho_a = 116.83 (\Omega \cdot m)$$

Los logaritmos.

$$X_i = \ln (\rho_i)$$

ρ_i : resistividad aparente.

Realizando el cálculo para 181.65

$$X_i = \ln (181.65)$$

$$X_i = 5.20$$

Los demás resultados se muestran en la Tabla 8:

Tabla 5

Logaritmos naturales de las resistividades aparentes trayectoria N°1

Resistividad [Ω -m]	$X_i = \ln (\rho_{ai})$
181.65	5.20
155.23	5.04
142.12	4.96
102.23	4.63
43.33	3.77
76.45	4.34

El promedio x :

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

X_i : Logaritmo natural.

Se tiene:

$$x = \frac{5.2 + 5.04 + 4.96 + 4.63 + 3.77 + 4.34}{6}$$

$$x = 4.66$$

La desviación estándar es:

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

$$S = \sqrt{\frac{0.29812 + 0.15118 + 0.09034 + 0.00083 + 0.78699 + 0.10204}{6}}$$

$$S = 1.1595$$

Entonces la resistividad con un 70% de probabilidad de ser la real:

$$\rho = e^{(S*Z)+x} (\Omega. m)$$

De la distribución normal se toma el valor de Z para una probabilidad del 70%

$$Z = 0.524411$$

Finalmente tenemos que:

$$\rho = e^{(S*0.524411)+x} (\Omega. m)$$

$$\rho = e^{(1.1595*0.524411)+4.66} (\Omega. m)$$

$$\rho = 193.28 (\Omega. m)$$

Los resultados se registran en la siguiente tabla:

Tabla 6

Modelado Resistividad del terreno trayectoria N°1

Trayectoria	Lectura del instrumento R (Ω)	Distancia a (m)	Profundidad b (m)	$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$
1	25.4	1	0.3	181.65
	11.9	2	0.3	155.23
	5.6	4	0.3	142.12
	2.7	6	0.3	102.23
	0.86	8	0.3	43.33
	0.76	16	0.3	76.45

Para la trayectoria N°2 (Norte), tenemos lo siguiente:

El valor promedio:

$$\rho_a = \frac{\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}}{n} (\Omega \cdot m)$$

En donde:

$\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}$: Mediciones de resistividad aparente.

n : 6 mediciones.

$$\rho_a = \frac{105.84 + 105.66 + 88.82 + 83.68 + 63.49 + 84.50}{6} (\Omega \cdot m)$$

$$\rho_a = 88.67 (\Omega \cdot m)$$

Los logaritmos naturales.

$$X_i = \ln (\rho_i)$$

ρ_i : resistividad aparente.

Realizando el cálculo para 105.84

$$X_i = \ln (181.65)$$

$$X_i = 4.66$$

Los resultados se muestran en la Tabla 10:

Tabla 7

Logaritmos naturales de las resistividades aparentes trayectoria N°2

Resistividad [Ω-m]	$X_i = \ln(\rho_{ai})$
105.84	4.66
105.66	4.66
88.82	4.49
83.68	4.43
63.49	4.15
84.50	4.44

El promedio x :

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

X_i : Logaritmo natural.

Se tiene:

$$x = \frac{4.66 + 4.66 + 4.49 + 4.43 + 4.15 + 4.44}{6}$$

$$x = 4.47$$

La desviación estándar es:

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

$$S = \sqrt{\frac{0.03663 + 0.03597 + 0.00026 + 0.00083 + 0.10220 + 0.00115}{6}}$$

$$S = 0.4209$$

Entonces la resistividad con un 70% de probabilidad de ser la real:

$$\rho = e^{(S*Z)+x} (\Omega. m)$$

De la distribución normal se toma el valor de Z para una probabilidad del 70%

$$Z = 0.524411$$

Finalmente tenemos que:

$$\rho = e^{(S*0.524411)+x}(\Omega. m)$$

$$\rho = e^{(0.4209*0.524411)+4.47}(\Omega. m)$$

$$\rho = 108.99 (\Omega. m)$$

Los resultados se registran en la siguiente tabla:

Tabla 8

Modelado Resistividad del terreno trayectoria N°2

Trayectoria	Lectura del instrumento R (Ω)	Distancia a (m)	Profundidad b (m)	$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$
2	14.80	1	0.3	105.84
	8.1	2	0.3	105.66
	3.5	4	0.3	88.82
	2.21	6	0.3	83.68
	1.26	8	0.3	63.49
	0.84	16	0.3	84.50

4.1.2.2. Cálculo de la Resistencia teórica del sistema de puesta a tierra

Se calcula utilizando la formula siguiente:

Para la trayectoria N°1:

$$R = \frac{\rho_2}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r_1} - 1 \right)$$

En donde:

R : Resistencia de tierra en Ω

ρ_2 : Resistividad del suelo en $\Omega \cdot m = 193.28$, para la trayectoria N°1.

r : Radio del electrodo = 0.016 m

l : Longitud de la varilla m = 2.4 m

$$R = \frac{193.28}{2\pi * 2.4} \left(\ln \frac{4 * 2.4}{0.016} - 1 \right) = 69.17 \Omega$$

Para la trayectoria N°2:

$$R = \frac{\rho_2}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r_1} - 1 \right)$$

En donde:

R : Resistencia de tierra en Ω

ρ_2 : Resistividad del suelo en $\Omega \cdot m = 108.99$, para la trayectoria N°1.

r : Radio del electrodo = 0.016 m

l : Longitud de la varilla m = 2.4 m

$$R = \frac{108.99}{2\pi * 2.4} \left(\ln \frac{4 * 2.4}{0.016} - 1 \right) = 39.01 \Omega$$

los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 9

Resistencia teorica

Resistencia de Puesta a Tierra (R)				
Trayectoria	Longitud del electrodo (L)	Radio del electrodo (r)	Resistividad de diseño (ρ_2)	$R = \frac{\rho_2}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r_1} - 1 \right)$
1	2.4	0.016	193.28	69.17
2	2.4	0.016	108.99	39.01

Podemos deducir que la resistencia teórica es de 69 Ohmios de acuerdo a las características propias de la resistividad del terreno y esta corresponde a la trayectoria N°1.

4.1.2.3. Resistencia del sistema de puesta a tierra tratado con estiércol de alpaca

Se realiza las mediciones del pozo a tierra sin tratar utilizando el método de la caída de potencial.



De acuerdo al procedimiento descrito en el manual procedemos de la siguiente manera:

- a) Conectar la varilla de prueba a los puntos C1 y P1.
- b) Llevar la varilla de corriente C (cable rojo), tan lejos como sea posible del electrodo bajo prueba E (cable verde). Conectar esta varilla al punto C2 del equipo.
- c) Llevar la varilla de potencial P (cable amarillo), a la mitad entre E y C, sobre la recta que los une. Conectar el cable de esta varilla al punto P2 del equipo.
- d) Realizar la medida, ésta es la resistencia R1.
- e) Poner la varilla (P) a una distancia igual al 40% de EC desde E y tomar una segunda lectura, (R2).

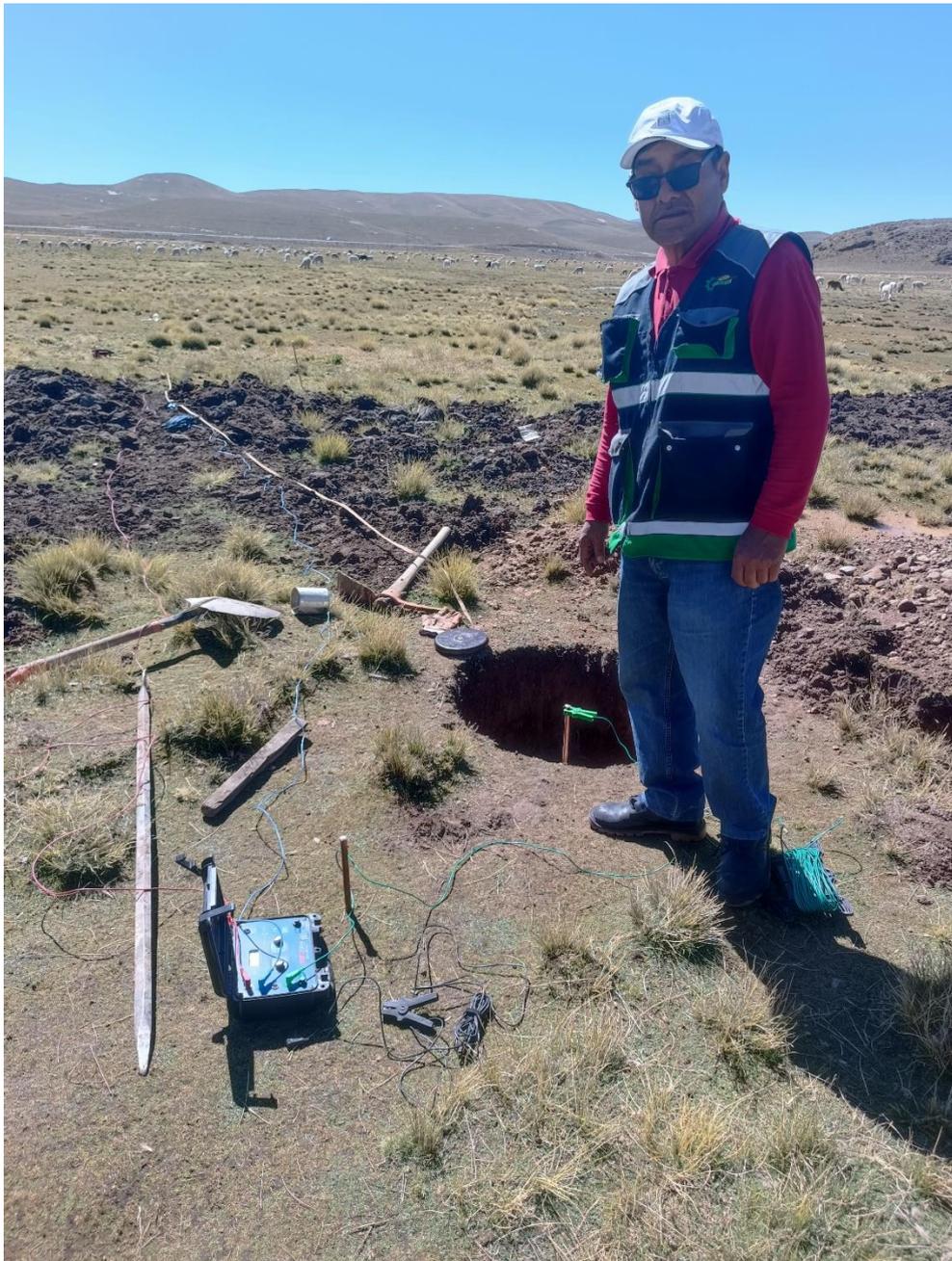


Figura 28. Pozo sin tratamiento

Los resultados de las mediciones realizadas para las diferentes distancias se resumen en la Tabla 13:

Tabla 10

Medicion de la resistencia pozo sin tratar

Distancia (m)	Lectura R(Ω)
10	62.1
14	61.9
16	62.2
20	62.7
24	62.6
28	62.8
32	63.3

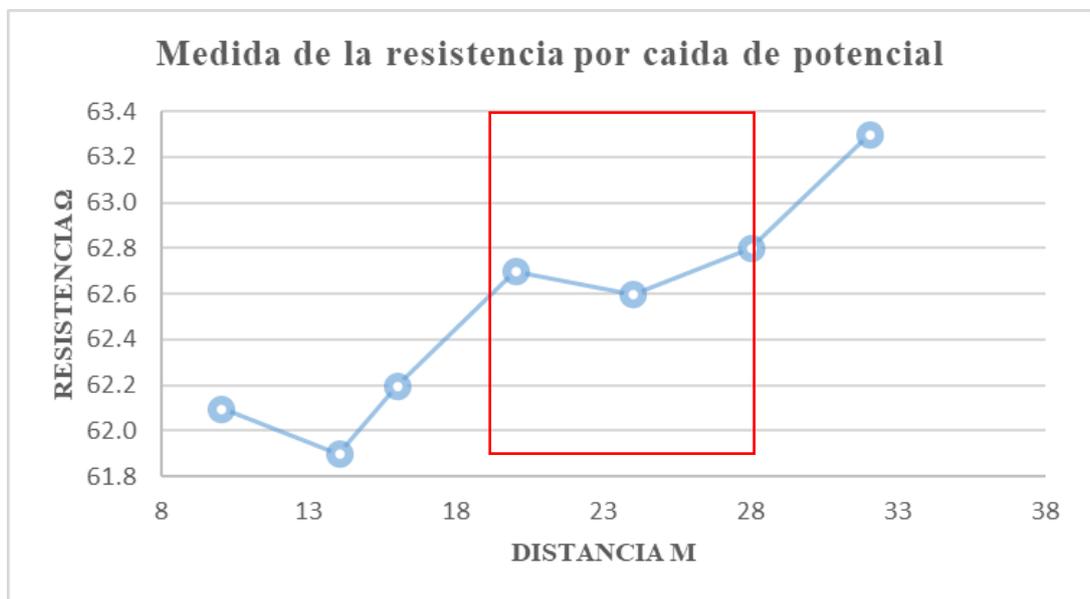


Figura 29. Impedancia típica frente a la distancia

Entonces la resistencia del pozo sin tratar de acuerdo al método de la caída de potencial es de 62.6 Ohmios.

Con la instalación del pozo a tierra tratado con el estiércol de alpaca se procede a realizar las mediciones mediante el método de la caída de potencial.



Figura 30. Pozo tratado con estiércol de alpaca

Fuente: Elaboración propia

Los resultados tenemos en la Tabla 14:

Tabla 11

Medición de la resistencia pozo con tratamiento

Distancia (m)	Lectura R(Ω)
10	25.6
14	27.0
16	27.8
20	29.0
24	29.1
28	29.4
32	29.6

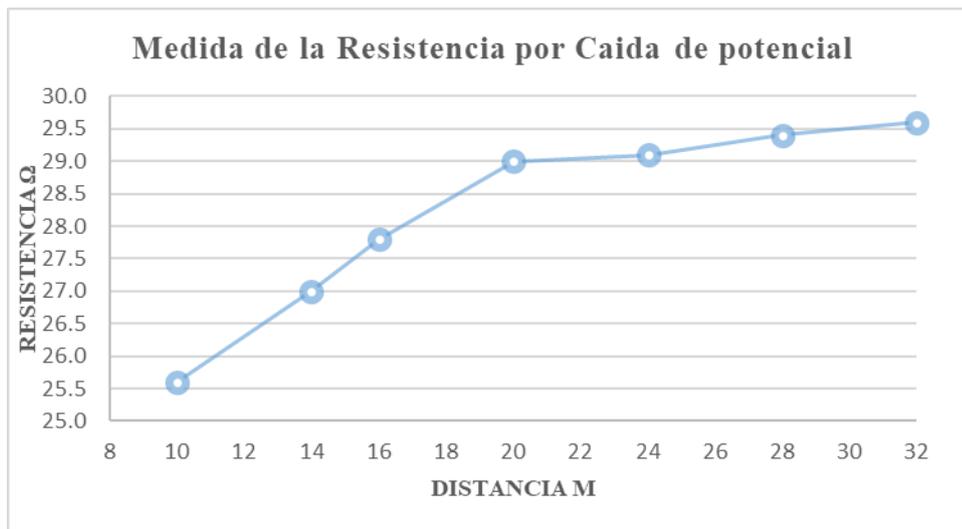


Figura 31. Impedancia típica frente a la distancia pozo tratado

Entonces la resistencia del pozo tratado con estiércol de alpaca de acuerdo al método de la caída de potencial es de 29.5 Ohmios.

Tabla 12

Correlación de la distancia y resistencia

Correlaciones			
		Distancia	Resistencia
Distancia	Correlación de Pearson	1	,921**
	Sig. (bilateral)		,003
	N	7	7
Resistencia	Correlación de Pearson	,921**	1
	Sig. (bilateral)	,003	
	N	7	7

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Interpretación: De acuerdo al coeficiente de correlación de Pearson, al 1% de significancia estadística existe una relación positiva, muy fuerte y altamente significativa entre la distancia y la resistencia, en consecuencia, se puede concluir que a mayor distancia mayor resistencia, sin embargo, hay un nivel de saturación.

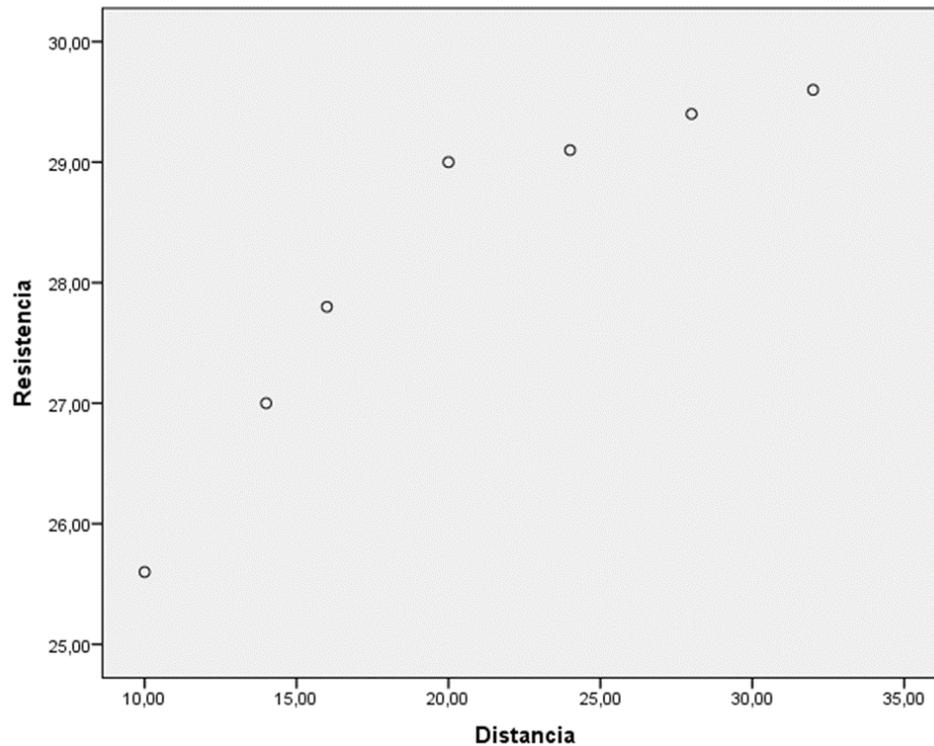


Figura 32. Resistencia vs distancia pozo tratado con estiércol de alpaca

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Contrastación de hipótesis

Para la prueba de hipótesis utilizamos la distribución t de Student, que viene dado por la expresión siguiente:

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{S_d / \sqrt{n}}$$

Donde

\bar{d} : Promedio de las diferencias de las mediciones muestrales.

S_d : Desviación estándar de estas diferencias.

$v = n - 1$ grados de libertad

4.1.4. Hipótesis de investigación

H_0 : La hipótesis nula de que no hay diferencia en la aplicación.

H_1 : la hipótesis alterna de que si hay diferencia en la aplicación.

$$H_0: \mu_D = d_0$$

$$H_1: \mu_D \neq d_0$$

La prueba a aplicar es de dos colas o bilateral.

$$\alpha = 5\% \Rightarrow \alpha = 0,05$$

De acuerdo a lo planteado tenemos para las hipótesis planteadas.

4.1.4.1. Para la hipótesis específica 1

Tenemos el siguiente planteamiento:

H_0 : La resistividad del terreno no está estrechamente relacionada con la resistencia de puesta a tierra.

H_1 : La resistividad del terreno está estrechamente relacionada con la resistencia de puesta a tierra.

Para el análisis se considera los datos siguientes obtenidos.

Tabla 13

Resistividad del terreno vs resistencia

Resistividad del terreno vs resistencia			
Caso	Resistividad	Resistencia	d_i
1	181.65	65.0	116.64
2	155.23	55.6	99.67
3	142.12	50.9	91.25
4	102.23	36.6	65.64
5	43.33	15.5	27.83
6	76.45	27.4	49.09

Tenemos en cuenta lo siguiente:

$$v = 6 - 1 = 5 \text{ grados de libertad.}$$

Para 5 grados de libertad y $\alpha = 0,025$, de la tabla de valores críticos de la distribución t de Student tenemos lo siguiente:

Tabla 14

Valores críticos de la distribución t de Student hipótesis 1

$v \backslash \alpha$	0.10	0.05	0.025	0.010	0.005
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169

$$t_{\alpha/2} = 0,025 = 2,571$$

Ya que, la prueba es bilateral o de dos colas, el nivel de significación α se debe dividir entre 2. Esto delimita el área en tres partes, un área entre $-2,571$ y $2,571$; la cual es el área de aceptación de la hipótesis nula y el área a la izquierda de $-2,571$ y a la derecha de $2,571$ que representa el área de rechazo de la hipótesis nula.

Tenemos los datos siguientes:

$$\bar{d} = 75,0202$$

$$S_d = 33,43$$

$$v = n - 1 = 5$$

$$t = \frac{75,0202 - 0}{33,43 / \sqrt{5}} = 5,4954$$

Con la aplicación de análisis de datos de Excel, para dos muestras emparejadas tenemos lo siguiente:

Tabla 15

Resultados aplicación t de Student hipótesis 1

	Resistividad	Resistencia
Media	116.8348654	41.814616
Varianza	2712.097005	347.38936
Observaciones	6	6
Coefficiente de correlación de Pearson	1	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	5	
Estadístico t	5.495351524	
P(T<=t) una cola	0.001362589	
Valor crítico de t (una cola)	2.015048373	
P(T<=t) dos colas	0.002725179	
Valor crítico de t (dos colas)	2.570581836	

El valor de t calculado es 5,4954 el cual es mayor al valor $t = 2,571$; por tanto, cae en la región de rechazo; con lo cual se rechaza la hipótesis nula; aceptando la alterna, es decir que, La resistividad del terreno está estrechamente relacionada con la resistencia de puesta a tierra.

4.1.4.2. Hipótesis específica 2

De acuerdo a lo planteado tenemos para las hipótesis planteadas.

H_0 : La resistencia del sistema de puesta a tierra, no mejora con el estiércol de alpaca.

H_1 : La resistencia del sistema de puesta a tierra, mejora con el estiércol de alpaca.

Para el análisis se considera los datos siguientes obtenidos.

Tabla 16

Tratamiento con estiercol de alpaca

Tratamiento con estiercol de alpaca			
Caso	Sin tratar	Con tratamiento	d_i
1	62.1	25.6	36.5
2	61.9	27.0	34.9
3	62.2	27.8	34.4
4	62.7	29.0	33.7
5	62.6	29.1	33.5
6	62.8	29.4	33.4
7	63.3	29.6	33.7

Tenemos en cuenta lo siguiente:

$$v = 7 - 1 = 6 \text{ grados de libertad.}$$

Para 6 grados de libertad y $\alpha = 0,025$, de la tabla de valores críticos de la distribución t de Student tenemos lo siguiente:

$$t_{\alpha/2} = 0,025 = 2,447$$

Tabla 17

Valores críticos de la distribución t de Student hipótesis 2

$v \backslash \alpha$	0.10	0.05	0.025	0.010	0.005
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169

Ya que, la prueba es bilateral o de dos colas, el nivel de significación α se debe dividir entre 2. Esto delimita el área en tres partes, un área entre $-2,447$ y $2,447$; la cual es el área de aceptación de la hipótesis nula y el área a la izquierda de $-$

2,447 y a la derecha de 2,447 que representa el área de rechazo de la hipótesis nula.

Tenemos los datos siguientes:

$$\bar{d} = 34,3 = 34,3$$

$$S_d = 1,10905$$

$$v = n - 1 = 6$$

$$t = \frac{34,3 - 0}{1,10905 / \sqrt{6}} = 81,8259$$

Con la aplicación de análisis de datos de Excel, para dos muestras emparejadas tenemos lo siguiente:

Tabla 18

Resultados aplicación t de Student hipótesis 2

	Sin tratar	Con tratamiento
Media	62.51428571	28.21428571
Varianza	0.231428571	2.201428571
Observaciones	7	7
Coefficiente de correlación de Pearson	0.84260352	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	6	
Estadístico t	81.8258611	
P(T<=t) una cola	1.12178E-10	
Valor crítico de t (una cola)	1.943180281	
P(T<=t) dos colas	2.24357E-10	
Valor crítico de t (dos colas)	2.446911851	

El valor de t calculado es 81,82 el cual es mayor al valor $t = 2,447$; por tanto, cae en la región de rechazo; con lo cual se rechaza la hipótesis nula; aceptando la alterna, es decir que, la resistencia del sistema de puesta a tierra, mejora significativamente con el estiércol de alpaca.

4.2. Discusión

Hu et al. (2012), lleva a cabo una prueba de campo al aire libre para investigar el efecto del relleno conductor en la reducción de la resistencia de puesta a tierra de los impulsos; trata de la cuestión de si y por qué el efecto bajo la condición de relámpago es diferente

del efecto bajo la condición de frecuencia de potencia; basado en los resultados de la prueba, el efecto del relleno conductor bajo condición de relámpago se compara con el efecto bajo condición de frecuencia de energía; entonces, concluye que la ionización es también un factor importante además de la resistividad que afecta el efecto de la reducción de la resistencia de puesta a tierra bajo condición de relámpago, pero el efecto del relleno conductor en la reducción de la resistencia de puesta a tierra bajo la condición de relámpago es difícil de comparar cuantitativamente con la condición de frecuencia de energía.

Androvitsaneas. (2012) evalúa el comportamiento de los compuestos mejoradores de tierra, los cuales son ampliamente usados en sistemas de puesta a tierra, con el fin de disminuir el valor de la resistencia; como resultado, el valor más bajo de la resistencia de puesta a tierra factible es deseable, para proporcionar el camino más bajo de impedimento para que las corrientes de falla se dispersen en la tierra, en el tiempo más corto posible; para este propósito, cinco barras de puesta a tierra fueron conducidas, cada una de ellas, en diferentes compuestos de mejora de tierra; los resultados de la prueba, se presentan en relación con el tiempo y la lluvia; además, se presentan varias reflexiones, comentarios y propuestas sobre: a) la viabilidad de uso de los compuestos de mejora de tierra, b) la elección del compuesto adecuado, en relación con el costo y el valor de resistencia de puesta a tierra alcanzado, c) la influencia del tiempo y las condiciones climáticas en el comportamiento de los compuestos de mejora de tierra.

CONCLUSIONES

Del objetivo principal:

Se ha logrado evaluar la Influencia del comportamiento del estiércol de alpaca en la ionización de los sistemas de puesta a tierra; es decir, que el tratamiento de los pozos a tierra con estiércol de alpaca mejora la resistencia de los sistemas a tierra; por lo tanto, representa una ventaja la utilización del estiércol de alpaca en la ionización de los pozos a tierra y también en el cuidado del medio ambiente al ser un compuesto netamente orgánico.

De los objetivos específicos:

De acuerdo al **primer objetivo**, se ha determinado la resistividad del terreno en cada estrato de la ubicación del electrodo, mediante el método de Werner o también conocido como el método de los cuatro puntos recomendado en la norma IEEE-Std-81- 2012, para tal efecto se realizó las mediciones en dos direcciones; con los datos obtenidos se realizó el modelamiento del terreno mediante el método BOX-COX; que nos da como resultado para la trayectoria uno (norte), tenemos una resistividad de 193.28 Ohmios por metro y para la trayectoria dos, tenemos una resistividad de 108.99 Ohmios por metro.

En cuanto al **segundo objetivo** específico, se ha realizado la medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra tratado con estiércol de alpaca; teniendo en cuenta la recomendación de la norma IEEE-Std-81- 2012, para la medición de los sistemas de puesta a tierra; las mediciones realizadas a los pozos de puesta a tierra, el primero sin tratamiento nos da como resultado una resistencia de 62.6 Ohmios; mientras que para el pozo tratado con estiércol de alpaca nos da una medición de 29 Ohmios; lo cual, representa una mejora en la resistencia del pozo.



RECOMENDACIONES

- Incursionar en el uso de compuestos mejoradores del terreno como es el caso del estiércol de los camélidos sudamericanos abundantes en las zonas altas de nuestra región.
- Se recomienda como futura línea de investigación el análisis y comparación de los sistemas de puesta a tierra tratados con el estiércol de alpaca en adición con compuestos mejoradores del terreno ya utilizados como es el caso del cemento conductivo.
- Se proporciona información base para utilizar este procedimiento en diferentes tipos de edificaciones, con la finalidad de garantizar tanto la seguridad de las personas, así como de los diferentes tipos de equipos que son utilizados y continuar con la investigación en este campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, W. V., Alejandro, J., & Velasquez, V. (2005). Efectos de algunos parámetros en la respuesta a impulsos, de sistemas de puesta a tierra en líneas de transmisión. *Simposio Internacional En Calidad de La Energía Eléctrica - SICEL*.
<https://www.researchgate.net/publication/329453626>
- Ahmad, W., Rahman, A., Jasni, J., & Kadir, A. (2010). CHEMICAL ENHANCEMENT MATERIALS FOR GROUNDING PURPOSES. In International Conference on Lightning Protection - ICLP (Ed.), *International Conference on Lightning Protection - ICLP*. <http://www.eng.upm.edu.my/celp>
- Alsharari, B., Olenko, A., & Abuel-Naga, H. (2020). Modeling of electrical resistivity of soil based on geotechnical properties. *Expert Systems with Applications*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112966>
- Alvarez, R., Villca, S., & Lidén, G. (2006). Biogas production from llama and cow manure at high altitude. *Biomass and Bioenergy*, 30(1), 66–75.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.10.001>
- Ametani, A., Chikaraa, T., Morii, H., & Kubo, T. (2012). Impedance characteristics of grounding electrodes on earth surface. *Electric Power Systems Research*, 85, 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2011.07.006>
- An, N., Tang, C. S., Cheng, Q., Wang, D. Y., & Shi, B. (2020). An experimental application of electrical resistivity/resistance method (ERM) to characterize the evaporation process of sandy soil. *Physics and Chemistry of the Earth*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102873>
- Androvitsaneas, V. P., Gonos, I. F., & Stathopoulos, I. A. (2012). Performance of Ground Enhancing Compounds During the Year. In ICLP (Ed.), *International Conference on Lightning Protection*. Vienna University of Technology.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6344356>
- Androvitsaneas, V. P., Gonos, I. F., & Stathopoulos, I. A. (2016). Experimental study on transient impedance of grounding rods encased in ground enhancing compounds. *Electric Power Systems Research*, 139, 109–115.
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.11.032>

- Azlinda Ahmad, N., Fernando, M., Baharudin, Z. A., Rahman, M., Cooray, V., Saleh, Z., Dwyer, J. R., & Rassoul, H. K. (2010). The first electric field pulse of cloud and cloud-to-ground lightning discharges. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 72(2–3), 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2009.11.001>
- Camara, M., Atalar, F., & Yılmaz, A. E. (2020). A new grounding cake to improve the safety performance of grounding systems. In *Journal of Electrostatics* (Vol. 108). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2020.103521>
- Chauvin Arnoux Ibérica, S. A. (2015). *Guía de la medición de tierra*. www.chauvin-arnoux.es
- Chen, L. H., Chen, J. F., Liang, T. J., & Wang, W. I. (2008a). Calculation of ground resistance and step voltage for buried ground rod with insulation lead. *Electric Power Systems Research*, 78(6), 995–1007. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2007.07.008>
- Chen, L. H., Chen, J. F., Liang, T. J., & Wang, W. I. (2008b). Calculation of ground resistance and step voltage for buried ground rod with insulation lead. *Electric Power Systems Research*, 78(6), 995–1007. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2007.07.008>
- Choi, J. H., & Lee, B. H. (2012). An analysis of conventional grounding impedance based on the impulsive current distribution of a horizontal electrode. *Electric Power Systems Research*, 85, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2011.07.005>
- Coelho, V. L., Piantini, A., Almaguer, H. A. D., Coelho, R. A., Boaventura, W. D. C., & Paulino, J. O. S. (2015). The influence of seasonal soil moisture on the behavior of soil resistivity and power distribution grounding systems. *Electric Power Systems Research*, 118, 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2014.07.027>
- Committee of the IEEE Power, S., & Society, E. (2012a). *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System Sponsored by the Substations Committee IEEE Power and Energy Society*.
- Committee of the IEEE Power, S., & Society, E. (2012b). *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a*

Grounding System Sponsored by the Substations Committee IEEE Power and Energy Society.

Faleiro, E., Asensio, G., Denche, G., & Moreno, J. (2022). A fast method to compute the grounding resistance of a coated electrode using the coated electrode equivalent radius. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107879>

Galvan, A., Pretelln, G., & Gaona, E. (2010). *PRACTICAL EVALUATION OF GROUND ENHANCING COMPOUNDS FOR HIGH SOIL RESISTIVITIES* (International Conference on Lightning Protection - ICLP, Ed.).

García Márquez, Rogelio. (1991). *La puesta a tierra instalaciones eléctricas y el R.A.T.* Marcombo.

Gazzana, D. S., Bretas, A. S., Dias, G. A. D., Telló, M., Thomas, D. W. P., & Christopoulos, C. (2014). A study of human safety against lightning considering the grounding system and the evaluation of the associated parameters. *Electric Power Systems Research*, 113, 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2014.03.015>

Gazzana, D. S., Smorgonskiy, A., Mora, N., Šunjerga, A., Rubinstein, M., & Rachidi, F. (2018). An experimental field study of the grounding system response of tall wind turbines to impulse surges. *Electric Power Systems Research*, 160, 219–225. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.02.020>

Guizán, R., Colominas, I., París, J., Couceiro, I., & Navarrina, F. (2022). Numerical analysis and safety design of grounding systems in underground compact substations. *Electric Power Systems Research*, 203. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107627>

Guo, D., Lathi, D., Harid, N., Griffiths, H., Haddad, A., & Ainsley, A. (2010). Experimental Investigation into the Performance of Large-scale Earthing electrodes. *High Voltage Energy Systems Group*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5640727>

Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista-Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación (6ta ed.)* (McGRAW-HILL, Ed.; Sexta). INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

- Hinostroza, C. N. (1994). *Influencia del Estiércol en el establecimiento de pasturas*.
- Hu, W., Yu, S., Cheng, R., & He, J. (2012a). A testing research on the effect of conductive backfill on reducing grounding resistance under lightning. *2012 31st International Conference on Lightning Protection, ICLP 2012*, 1–4.
<https://doi.org/10.1109/ICLP.2012.6344300>
- Hu, W., Yu, S., Cheng, R., & He, J. (2012b). A Testing Research on the Effect of Conductive Backfill on Reducing grounding Resistance under Lightning. *International Conference on Lightning Protection (ICLP)*.
- IEEE-Std-81TM-2012. (2012). *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity , Ground Impedance , and Earth Surface Potentials of a Grounding System* (I. P. and E. Society, Ed.; 1^o). IEEE.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (2007). *IEEE Std 142-2007*.
- Islam, T., & Chik, Z. (2013). Improved near surface soil characterizations using a multilayer soil resistivity model. *Geoderma*, 209–210, 136–142.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.06.015>
- Joffe, E. B., & Lock, K.-S. (2011). *Grounds for grounding: a circuit to system handbook*. John Wiley & Sons.
- Joffe, E., & Lock, K. (2023). GROUNDS FOR GROUNDING A Circuit-to-System Handbook. In *Grounds for Grounding*.
<https://doi.org/10.1002/9781119770961.ch3>
- Jones, W. R. (1979). BENTONITE RODS ASSURE GROUND ROD INSTALLATION IN PROBLEM SOILS. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 4.
- Keith, W., & Switzer, S. W. K. (1999). *Practical Guide to Electrical Grounding*.
<https://s1.solacity.com/docs/Erigo%20-%20Practical%20Guide%20To%20Electrical%20Grounding.pdf>
- Khan, Y., Pazheri, F. R., Malik, N. H., Al-Arainy, A. A., & Qureshi, M. I. (2012). Novel approach of estimating grounding pit optimum dimensions in high

- resistivity soils. *Electric Power Systems Research*, 92, 145–154.
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2012.06.003>
- Kontargyri, V. T., Gonos, I. F., & Stathopoulos, I. A. (2015). Study on wind farm grounding system. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(6), 4969–4977.
<https://doi.org/10.1109/TIA.2015.2418315>
- Kwon, H., Kil, Y., & Kim, S. (2023). A method for grounding resistance calculation of vertical electrode. *Electric Power Systems Research*, 224.
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109718>
- Leal, A. G., Lazzaretti, A. E., & López-Salamanca, H. L. (2023a). A systematic review on grounding impedance measurement in electrical installations. In *Electric Power Systems Research* (Vol. 214). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108953>
- Leal, A. G., Lazzaretti, A. E., & López-Salamanca, H. L. (2023b). A systematic review on grounding impedance measurement in electrical installations. In *Electric Power Systems Research* (Vol. 214). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108953>
- Liu, Y., Theethayi, N., Thottappillil, R., Gonzalez, R. M., & Zitnik, M. (2004). An improved model for soil ionization around grounding system and its application to stratified soil. *Journal of Electrostatics*, 60(2–4), 203–209.
<https://doi.org/10.1016/j.elstat.2004.01.012>
- Lozano, M.-M. (2014). *Methodology based on neural networks for earth resistivity interpretation in congested urban areas: Vol. XXXV* (Issue 1). Enero/Abril.
- Luiz, V., Piantini, A., Almaguer, H. A. D., Coelho, R. A., Boaventura, C., Osvaldo, J., & Paulino, S. (2015). The influence of seasonal soil moisture on the behavior of soil resistivity and power distribution grounding systems. *Electric Power Systems Research*, 118, 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2014.07.027>
- Mazzetti, C., & Giuseppe, V. M. (1983). *Impulse Behavior of Ground Electrodes*.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. (2011). *CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD (SUMINISTRO 2011)*. www.minem.gob.pe

- Mohamad Nor, N., Abdullah, S., Rajab, R., & Ramar, K. (2013a). Field tests: Performances of practical earthing systems under lightning impulses. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 45(1), 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.08.077>
- Mohamad Nor, N., Abdullah, S., Rajab, R., & Ramar, K. (2013b). Field tests: Performances of practical earthing systems under lightning impulses. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 45(1), 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.08.077>
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y Analisis de Experimentos* (S. A. Limusa, Ed.; Segunda Ed). Grupo Noriega Editores.
- Mostafa, M., Anwar, M. B., & Radwan, A. (2018). Application of electrical resistivity measurement as quality control test for calcareous soil. *HBRC Journal*, 14(3), 379–384. <https://doi.org/10.1016/j.hbrej.2017.07.001>
- Nor, N. M., Haddad, A., & Griffiths, H. (2006). Performance of earthing systems of low resistivity soils. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 21(4), 2039–2047. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2006.874656>
- Otani, K., Baba, Y., Nagaoka, N., Ametani, A., & Itamoto, N. (2014). FDTD surge analysis of grounding electrodes considering soil ionization. *Electric Power Systems Research*, 113, 171–179. <https://doi.org/10.1016/j.epwr.2014.02.032>
- Popović, L. M. (2011). Comparative analysis of grounding systems formed by MV cable lines with either uninsulated or insulated metal sheath(s). *Electric Power Systems Research*, 81(2), 393–399. <https://doi.org/10.1016/j.epwr.2010.10.001>
- Rand, K. R. (2000). *Lightning Protection & Grounding Solutions for Communication Sites* Lightning Protection & Grounding Solutions for Communication Sites FIRST EDITION Published by PolyPhaser® Lightning Protection & Grounding Solutions for Communication Sites.
- Reddi, L. N., Jain, A. K., & Yun, H. B. (2012). Soil materials for earth construction: Properties, classification and suitability testing. In *Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications* (pp. 155–171). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1533/9780857096166.2.155>

- Salinos, A. S. Y., Los, P. E. L. M. D. E., Tierra, S. D. E. P. A., Aditivos, C. O. N., Salinos, S. Y., & El, P. (2015). *Corrosion de conductores de cobre en suelos dopados con aditivos semiconductores y salinos, para el mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra*. March.
- Sekioka, S., Sonoda, T., & Ametani, A. (2005a). Experimental study of current-dependent grounding resistance of rod electrode. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(2 II), 1569–1576. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2004.838660>
- Sekioka, S., Sonoda, T., & Ametani, A. (2005b). Experimental study of current-dependent grounding resistance of rod electrode. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(2 II), 1569–1576. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2004.838660>
- Šesnić, S., Garma, T., Poljak, D., & Tkachenko, S. V. (2015). Comparison of the antenna model and experimental analysis of an impulse impedance of the horizontal grounding electrode. *Electric Power Systems Research*, 125, 159–163. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.04.010>
- Sung, I. H., Kim, J. W., Noh, H. J., & Jang, H. (2016). Effect of displacement and humidity on contact resistance of copper electrical contacts. *Tribology International*, 95, 256–261. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2015.11.027>
- Syafiqah Mohd Azmi, N., Mohamed, D., & Yuhui Mohd Tadza, M. (2021). Effects of various relative humidity conditions on copper corrosion behavior in bentonite. *Materials Today: Proceedings*, 48, 801–806. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.319>
- Tu, Y., He, J., & Zeng, R. (2006). Lightning impulse performances of grounding devices covered with low-resistivity materials. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 21(3), 1706–1713. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2006.874110>
- Velásquez, R. M. A., & Lara, J. V. M. (2019). Failures in overhead lines grounding system and a new improve in the IEEE and national standards. *Engineering Failure Analysis*, 100, 103–118.
- Vijayaraghavan, G., Brown, M., & Barnes, M. (2004). 3 - Equipment grounding. In G. Vijayaraghavan, M. Brown, & M. Barnes (Eds.), *Practical Grounding, Bonding*,



Shielding and Surge Protection (pp. 24–37). Newnes.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-075066399-1/50003-4>

Wu, J., Zhang, B., He, J., & Zeng, R. (2014). Optimal design of tower footing device with combined vertical and horizontal grounding electrodes under lightning.

Electric Power Systems Research, 113, 188–195.

<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2014.03.021>

Zhang, Z., Mei, D., Dan, Y., Zou, J., Liu, G., & Gao, C. (2020). Novel method for diagnosing corrosion of grounding electrodes in soil. *Electric Power Systems Research, 178*.

<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.106049>

Zhiwei, L., & Zhao, Z. (2012a). The Grounding Impedance Calculation of Large Steel Grounding Grid. *Energy Procedia, 17*, 157–163.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.02.077>

Zhiwei, L., & Zhao, Z. (2012b). The Grounding Impedance Calculation of Large Steel Grounding Grid. *Energy Procedia, 17*, 157–163.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.02.077>

ANEXOS

Anexo 1. Certificado de calibración



Certificado de Calibración

CALIBRATION CERTIFICATE

Laboratorio <i>Laboratory</i>	Electricidad <i>Electricity</i>	Código N° <i>Code N°</i>	E911-1659A-2023-1
---	---	------------------------------------	--------------------------

ISO / IEC 17025

Estos resultados están relacionados únicamente con el ítem descrito en este certificado. [These results are only related to the item described in this certificate.]

Es responsabilidad del cliente establecer la frecuencia de calibración de su instrumento, de acuerdo a sus propios usos y exigencias. [It is the customer's responsibility to establish the calibration frequency of their instrument, according to their own uses and requirements.]

LO JUSTO SAC, no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado del instrumento aquí o de este documento. [LO JUSTO S.A.C. is not responsible for any damage that may be caused by the incorrect or inappropriate use of the instrument described here or of this document.]

Este certificado se emite de manera electrónica. Si existe alguna duda, en la veracidad del presente certificado podrá consultarlo directamente a través de su dispositivo electrónico con el código QR. También puede consultar en el E-mail lojusto@lojusto.com. This certificate is issued electronically. If there is any doubt, the veracity of this certificate can be consulted directly through your electronic device with the QR code. You can also consult in the E-mail lojusto@lojusto.com.

a. Solicitante: <i>Applicant</i>	ENOC EDISON JILAJA CARITA
b. Dirección solicitante: <i>Applicant address</i>	Urbanización chanu chanu segunda etapa mz. B6 - L9
c. Instrumento de medida: <i>Measuring instrument</i>	TELURÓMETRO (Función resistencia eléctrica) Medición
d. Marca: <i>Manufacturer / Brand</i>	MEGABRAS
e. Modelo: <i>Model:</i>	MTD20KWe
f. Número de serie: <i>Serial Number:</i>	21E1317
g. Identificación: <i>Internal code</i>	No indica
h. Lugar de calibración: <i>Calibration Place</i>	Laboratorio de Electricidad, de LO JUSTO S.A.C.
i. Fecha de calibración: <i>Calibration Date</i>	2023-05-02
j. Supervisor de Laboratorio: <i>Laboratory Supervisor</i>	Vilca Cayllahua, Giancarlo Ernesto Supervisor de Laboratorio Laboratory Supervisor
k. Signatario autorizado: <i>Authorized signatory</i>	 Jose Luis Rosales Saavedra CONTROL OPERACIONES Fecha: 2023/05/03 14:59 

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de LO JUSTO S.A.C.
Certificados sin firma digital carecen de validez.

FT00-INRE-Edición digital 00



Laboratorio Electricidad Código N° E911-1659A-2023-1
 Laboratory Electricity Code N° E911-1659A-2023-1

1 Información del instrumento

Instrument Information

Rango del instrumento : 20 Ω; 200 Ω; 2000 Ω; 20 kΩ
 Rango no Automatico

Resolución: : 0,01 Ω; 0,1 Ω; 1 Ω; 0,01 kΩ

Cables de medición : 04 cables del instrumento .
 El instrumento no tiene conexión de tierra.

El valor medido de la batería 13 V.

Etiqueta de Calibración : 106149

Código Lo Justo : LJ-4999

El tiempo de encendido del instrumento antes de la calibración fue mayor a 30 minutos.
 El instrumento ingresa al laboratorio con fecha 2023-4-27.

2 Trazabilidad :

Traceability :

Tabla 1

Patrones

Patrón	Codigo QR de certificado
--------	--------------------------

Décadas de Resistencia IET Labs, Inc, con certificado de calibración 20220812-80096.



3 Instrumentos auxiliares :

Instruments auxiliary :

- Medidor de Condiciones Ambientales de temperatura y Humedad en Aire marca ETI Ltd., con certificado de calibración EPI-2022-162-1.

4 Procedimiento de calibración:

Calibration procedure:

- EURAMET cg-15 "Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters" Version 3.0 Febrero 2015.

5 Condiciones Ambientales

Environmental conditions

- Temperatura Ambiente promedio : 22,2 °C ± 0,3 °C
 - Humedad Relativa promedio : 45,3 %HR ± 1,1 %HR

ISO / IEC 17025



Laboratorio Electricidad Código N° E911-1659A-2023-1
 Laboratory Electricity Code N°

6 Resultados de Calibración

Results of Calibration

Tabla 1

Medición de resistencia eléctrica a 3 Hilos

Rango de Medición	Valor Resistencia Aplicado	Lectura del Instrumento	Error a aplicar	Factor de Cobertura	Incertidumbre de medida
20 Ω	0,0000 Ω	0,00 Ω	0,0000 Ω	2,01	0,0082 Ω
20 Ω	2,0041 Ω	2,00 Ω	-0,0041 Ω	2,01	0,0086 Ω
20 Ω	10,0044 Ω	10,00 Ω	-0,0044 Ω	2,00	0,0089 Ω
20 Ω	18,0082 Ω	17,95 Ω	-0,0582 Ω	2,00	0,0095 Ω
200 Ω	20,005 Ω	20,0 Ω	-0,005 Ω	2,01	0,083 Ω
200 Ω	100,004 Ω	100,1 Ω	0,096 Ω	2,01	0,084 Ω
200 Ω	180,012 Ω	179,6 Ω	-0,412 Ω	2,01	0,084 Ω
2000 Ω	200,01 Ω	200 Ω	-0,01 Ω	2,01	0,82 Ω
2000 Ω	999,99 Ω	1 001 Ω	1,01 Ω	2,01	0,83 Ω
2000 Ω	1 799,98 Ω	1 815 Ω	15,02 Ω	2,01	0,84 Ω
20 kΩ	1,9999 kΩ	2,07 kΩ	0,0701 kΩ	2,01	0,0082 kΩ
20 kΩ	10,0004 kΩ	10,04 kΩ	0,0396 kΩ	2,01	0,0083 kΩ
20 kΩ	17,9999 kΩ	17,33 kΩ	-0,6699 kΩ	2,01	0,0084 kΩ

La resistencia de los cables indicada en el instrumento fue de 0,08 Ω; 0,1 Ω; 0 Ω; 0,00 kΩ

Tabla 2

Medición de resistencia eléctrica a 4 Hilos

Rango de Medición	Valor Resistencia Aplicado	Lectura del Instrumento	Error a aplicar	Factor de Cobertura	Incertidumbre de medida
20 Ω	0,0000 Ω	0,00 Ω	0,0000 Ω	2,01	0,0082 Ω
20 Ω	2,0041 Ω	1,99 Ω	-0,0141 Ω	2,01	0,0086 Ω
20 Ω	10,0044 Ω	9,99 Ω	-0,0144 Ω	2,00	0,0089 Ω
20 Ω	18,0082 Ω	17,96 Ω	-0,0482 Ω	2,00	0,0095 Ω
200 Ω	20,005 Ω	20,0 Ω	-0,005 Ω	2,01	0,083 Ω
200 Ω	100,004 Ω	100,0 Ω	-0,004 Ω	2,01	0,084 Ω
200 Ω	180,012 Ω	179,9 Ω	-0,112 Ω	2,01	0,084 Ω
2000 Ω	200,01 Ω	198 Ω	-2,01 Ω	2,01	0,82 Ω
2000 Ω	999,99 Ω	996 Ω	-3,99 Ω	2,01	0,83 Ω
2000 Ω	1 799,98 Ω	1 812 Ω	12,02 Ω	2,01	0,84 Ω
20 kΩ	1,9999 kΩ	2,07 kΩ	0,0701 kΩ	2,01	0,0082 kΩ
20 kΩ	10,0004 kΩ	10,04 kΩ	0,0396 kΩ	2,01	0,0083 kΩ
20 kΩ	17,9999 kΩ	17,39 kΩ	-0,6099 kΩ	2,01	0,0084 kΩ

La resistencia de los cables indicada en el instrumento fue de 0,01 Ω; 0,0 Ω; 0 Ω; 0,00 kΩ

ISO / IEC 17025



Laboratorio	<u>Electricidad</u>	Código N°	<u>E911-1659A-2023-1</u>
Laboratory	Electricity	Code N°	

7 Notas y aclaraciones:

Notes and clarifications:

La incertidumbre expandida de medición reportada en el presente certificado de calibración resulta de multiplicar la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura k , de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de medida" JCGM:100 2008 BIPM.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre estimada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

The expanded measurement uncertainty reported in this calibration certificate results from multiplying the combined standard uncertainty by the coverage factor k , so that the coverage probability corresponds approximately to a 95% confidence level. The uncertainty was determined according to the "Guide for the Expression of Measurement Uncertainty" JCGM:100 2008 BIPM.

The expanded measurement uncertainty was calculated from the uncertainty components of the influencing factors in the calibration. The estimated uncertainty does not include an estimate of long-term variations.

Se ha colocado etiquetas de color blanco brillante N°: 106149 con logotipo de LO JUSTO S.A.C. en señal de haber realizado la calibración.

Bright white labels have been placed: N° 106149 with the logo of LO JUSTO S.A.C. as a sign of having carried out the calibration.

Este Certificado de calibración cumple con los requisitos establecidos en la Norma ISO/IEC 17025: Requisitos Generales para la competencia de los Laboratorios de Calibración y Ensayo.

This calibration certificate complies with the requirements of ISO / IEC 17025: General requirements for the competence of Calibration and Testing Laboratories.

8 Observaciones y comentarios:

Observations and comments

Sin observaciones, ni comentarios.

EL-408-2023 // JGO GVC

*** FIN DEL DOCUMENTO ***

ISO / IEC 17025

Anexo 2. Panel Fotográfico

Medicion de la resistividad: Trayectoria N°01



Medicion de la resistividad: Trayectoria N°02



Medicion de la resistencia pozo sin tratar



Medicion de la resistencia pozo tratado con estiercol de alpaca



Tratamiento con estiércol de alpaca





Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo GREGORIO MEZA MAROCHO,
identificado con DNI 01340895 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DEL ESTIERCO
DE ALPACA EN LA IONIZACION DE LOS SISTEMAS
DE PUESTA A TIERRA"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 10 de noviembre del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo GREGORIO MEZA MAROCHO,
identificado con DNI 01340895 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DEL ESTIERCOL
DE ALPACA EN LA IONIZACION DE LOS SISTEMAS
DE PUESTA A TIERRA"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

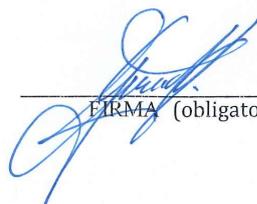
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 10 de noviembre del 2023



FIRMA (obligatoria)



Huella