



**Universidad  
Continental**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Trabajo de Investigación

**Influencia de la resistividad del terreno en el  
sistema de puesta a tierra local-SUNARP  
Satipo-Junín 2018**

**Raúl Rolando Sucño Mendoza**

Huancayo, 2019

Para optar el Grado Académico de Bachiller  
Ingeniería Eléctrica



Repositorio Institucional Continental

Trabajo de Investigación



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

## **AGRADECIMIENTOS**

La investigación ha sido un largo proceso de aprendizaje que no habría sido posible culminar sin la ayuda de instituciones y personas, a quienes quiero demostrarles mi gratitud. Por ello quisiera empezar agradeciendo a la Superintendencia Nacional de los Registros Públicos – SUNARP Sede Satipo, al Sr. Luis Terbullino por facilitarme el acceso al local para la recolección de datos, sin ella no hubiera sido posible el avance y la culminación de este proyecto de investigación.

De igual forma agradezco al Ing. Pedro Ricardo Gurmendi Párraga por su colaboración y por su guía en la realización de este trabajo de investigación. Ha sido una gran ayuda contar con su guía. Ya que me dio su apoyo transmitiéndome sus conocimientos y facilitándome bibliografías para la realización de esta investigación.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación dedico a mis padres que siempre están a mi lado brindándome su apoyo incondicional, por su paciencia y por ser un ejemplo de superación, sentó en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación.

## INDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	ii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>INDICE DE CONTENIDO</b> .....	iv
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	viii
<b>RESUMEN</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	xi
<b>CAPITULO I</b> .....	12
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....	12
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	12
1.1.1 Planteamiento del problema .....	12
1.1.2 Formulación del problema .....	13
1.2 Objetivos .....	14
1.3 Justificación e importancia .....	14
1.3.1 Justificación de la investigación .....	14
1.3.1.1 Social .....	14
1.3.1.2 Científica .....	15
1.3.1.3 Metodológica .....	15
1.3.2 Importancia de la investigación .....	15
1.4 Hipótesis y descripción de variables .....	15
1.4.1 Hipótesis .....	15

1.4.1.1	Hipótesis General .....	15
1.4.1.2	Hipótesis Específicas.....	16
1.4.2	Variables, Operacionalización.....	17
1.4.2.1	Identificación De Variables .....	17
1.4.2.2	Operacionalización de Variables .....	17
<b>CAPITULO II</b> .....		22
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....		22
2.1	Antecedentes de la investigación.....	22
2.2	Bases teóricas.....	31
2.2.1	Métodos de medición de resistividad.....	31
2.2.2	Modelos de capas del suelo .....	34
2.2.2.1	Método gráfico de Sunde .....	34
2.2.2.2	Modelo Multicapas .....	35
2.2.3	Definición de los datos de referencia.....	36
2.2.3.1	Metodología implementada por la empresa .....	36
2.2.3.1.1	Equipo utilizado para las mediciones. ....	36
2.2.3.1.2	Software de caracterización del suelo .....	37
2.2.3.1.3	Implementación de las mediciones. ....	38
2.2.3.2	Resultados .....	39
2.2.3.2.1	Resultados SEV 1E.....	39
2.2.3.2.2	Resultados SEV. 2E.....	41
2.2.3.2.3	Resultados SEV. 3E.....	43
2.2.3.3	Análisis de resultados.....	44
2.2.4	La medición de tierra .....	45
2.3	Definición de términos básicos .....	62
<b>METODOLOGÍA</b> .....		64

3.1	Método y alcances de la investigación .....	64
3.1.1	Método de la investigación .....	64
3.1.2	Alcances de la investigación.....	65
3.2	Diseño de la Investigación .....	65
3.3	Población y muestra.....	65
3.3.1	Población.....	65
3.3.2	Muestra.....	66
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	67
3.4.1	Técnicas de Análisis de Datos .....	68
<b>CAPITULO IV.....</b>		<b>70</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>70</b>
4.1	Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	70
4.1.1	Resultado que explica el objetivo específico 1.....	73
4.1.2	Resultado para lograr explicar el objetivo específico 2.....	76
4.1.3	Resultado para lograr explicar el objetivo específico 3.....	76
4.2	Discusión de resultados .....	77
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>78</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>80</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>81</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>83</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Arreglo de electrodos para el método Wenner.....	32
<i>Figura 2. Arreglo de electrodos para el método Schlumberger.</i> .....	33
Figura 3. Método gráfico de Sunde .....	34
Figura 4. Medidor de resistividad Super Sting R1 IP.....	37
Figura 5. Interfaz gráfica software de caracterización del suelo.....	38
Figura 6. Imágenes de las mediciones realizadas por la empresa.....	39
Figura 7. Curva de resistividad SEV 1E: $\rho$ vs $AB/2$ y valores de $\rho$ , $h$ y $d$ . .....	40
Figura 8. Curva de resistividad SEV. 2E: $\rho$ vs $AB/2$ y valores de $\rho$ , $h$ y $d$ . .....	42
Figura 9. Curva de resistividad SEV 3E: $\rho$ vs $AB/2$ y valores de $\rho$ , $h$ y $d$ . .....	43
Figura 10. Perfil de resistividad del lugar de estudio .....	44
Figura 11. Esquema de funcionamiento del interruptor diferencial.....	46
Figura 12. Métodos para realizar una toma de tierra.....	49
Figura 13. Circuito de tierra en un edificio colectivo. ....	50
Figura 14. Variación de la resistividad en función de la estratigrafía del terreno..	53
Figura 15. Variación de la resistividad en función de las variaciones estacionales. .....	54
Figura 16. Variación de la resistividad en función de la humedad.....	55
Figura 17. Variación de la resistividad en función al contenido de sales.....	56
Figura 18. Principio de Medida del Metodo Wenner.....	58
Figura 19. Medida de resistencia de una toma de tierra existente. ....	60
Figura 20. Zonas de influencia de las tomas auxiliares atravesadas por la corriente. ....	61
Figura 21. Escala de la Correlación de Spearman .....	73
Figura 21. Resistencia en el Terreno Tipo Arcilloso .....	73
Figura 22. Resistencia en el Terreno Tipo Cascajo.....	74
Figura 23. Resistencia del Terreno Tipo Cultivable.....	74
Figura 24. Resistencia del Terreno Tipo Gravoso .....	75
Figura 25. Resistencia del Terreno Tipo Poco Cultivable.....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Operacionalización de variable independiente .....	18
Tabla 2. Técnicas e instrumentos de la variable independiente .....	19
Tabla 3.Operacionalización de variable dependiente .....	20
Tabla 4.Técnicas e instrumentos de la variable dependiente .....	21
Tabla 5. Coordenadas obtenidas por la empresa.....	38
Tabla 6. Resultados de resistividad para el SEV. 1E. ....	39
Tabla 7. Posibles terrenos para el SEV 1E empresa. ....	41
Tabla 8. Resultados de resistividad para el SEV. 2E. ....	41
Tabla 9. Posibles terrenos para el SEV 2E empresa. ....	42
Tabla 10. Resultados de resistividad para el SEV 3E. ....	43
Tabla 11. Posibles terrenos para el SEV. 3E empresa. ....	44
Tabla 12. Medición realizada por la empresa, distancia AB/2, y profundidad total de las capas. ....	44
Tabla 13. Valor máximo de la toma de tierra en función de la corriente asignada del DDR (Esquema TT).....	48
Tabla 14. Resistividad según la naturaleza del terreno.....	52
Tabla 15. Valores medios de la resistividad. ....	52
Tabla 16. Efecto de la temperatura en la resistividad del suelo. ....	54
Tabla 17. Efecto de la humedad en la resistividad del suelo.....	55
Tabla 18. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	67
<i>Tabla 19. Elementos estadísticos a emplearse en la investigación.....</i>	<i>69</i>
Tabla 20. Resultados de las mediciones de resistividad .....	71
Tabla 21. Correlación entre la Resistividad y Resistencia.....	72
Tabla 22. Menores Resistencias de cada uno de los Tipos de Terrenos .....	76

## RESUMEN

**Objetivo:** Determinar la influencia de la resistividad del terreno en la eficiencia del sistema de puesta a tierra en el Local de la Superintendencia Nacional de los Registros Públicos Satipo. **Metodología:** El método de investigación que se empleará como base estructural es el método científico, que nos orientará como debemos realizar una investigación del tipo: inductivo – deductivo, además de ser analítico – sintético por la forma de analizar los hechos o fenómenos y relacionarlos con las bases teóricas del marco conceptual, asumiendo categorías cognitivas de síntesis. Se realizó 56 mediciones en cinco tipos de terrenos que son arcilloso, cascajo, cultivable, poco cultivable y gravoso, donde se realizó las mediciones antes de la instalación de la puesta tierra denominándolo como resistividad aparente y posteriormente ya instalado la puesta a tierra de volvió a medir y lo denominamos resistencia medida. **Resultado:** Se obtuvo como resultado la exactitud del Método de Wenner donde se realizó una proyección de la resistividad del terreno del Local Sunarp Satipo, donde seleccionamos las menores Resistencias Medidas obtenidas de los cinco tipos de terreno y nos muestra que el mejor tipo de terreno para realizar una puesta a tierra es el tipo cultivable porque presenta la menor resistividad en comparación de los otros tipos de terrenos, con un valor de 7.15 ohmios. **Conclusión:** Para la medición de un sistema de puesta a tierra es recomendable utilizar el Método Wenner ya que es efectivo, exacto y confiable. Otra de las conclusiones es para la realización de un buen sistema puesta a tierra utilizar tierra cultivable ya que estos presentan una resistividad menor por sus propiedades naturales.

**Palabras claves:** Resistividad, resistencia, puesta a tierra, Método Wenner.

## **ABSTRACT**

**Objective:** Determine the influence of soil resistivity on the efficiency of the earthing system in the Local of the National Superintendence of Public Records Satipo.

**Methodology:** The research method that will be used as a structural basis is the scientific method, which will guide us as we should conduct an investigation of the type: inductive - deductive, as well as being analytical - synthetic by the way of analyzing the facts or phenomena and relating them to the theoretical bases of the conceptual framework, assuming cognitive categories of synthesis. Fifty-six measurements were made on five types of land that are clayey, gravel, cultivable, little cultivable and burdensome, where the measurements were made before the installation of the earthing, calling it as apparent resistivity and afterwards the grounding was installed once again. measure and we call it measured resistance.

**Result:** The accuracy of the Wenner Method was obtained as a result of which a projection of the soil resistivity of the Local Sunarp Satipo was made, where we selected the lowest Resistances Measures obtained from the five types of terrain and shows us that the best type of terrain for Making a ground is the cultivable type because it has the lowest resistivity compared to other types of land, with a value of 7.15 ohms.

**Conclusion:** For the measurement of a grounding system it is advisable to use the Wenner Method as it is effective, accurate and reliable. Another conclusion is for the realization of a good grounded system using arable land as these have a lower resistivity for their natural properties.

**Keywords:** Resistivity, resistance, grounding, Wenner Method.

## INTRODUCCIÓN

El sistema de puesta a tierra es un conjunto de elementos conductores de un sistema eléctrico específico sin interruptores ni fusibles que unen los equipos eléctricos con el suelo o terreno, este representa la resistencia específica del suelo a cierta profundidad, o de un estrato de suelo. La resistividad del suelo se obtiene al procesar un grupo de medidas de campo, su magnitud se expresa en ohmios por metro y la resistividad eléctrica es la relación entre la diferencia de potencial en un material y la densidad de corriente que resulta en el mismo.

Para la instalación de un sistema de puesta a tierra es necesario tomar en cuenta al suelo ya que es de naturaleza heterogénea, porque varía por su composición y según las condiciones del medio, donde se pueden clasificar de diversas formas de suelos como: arcilloso, cultivable, gravoso, poco cultivable y cascajo. No se puede atribuir una resistividad específica a un tipo de suelo y así se realizan mediciones donde se pueden encontrar diversos valores de resistividad.

Las técnicas para medir la resistividad del suelo son esencialmente importantes y uno de las técnicas es el Método Wenner de los cuatro puntos, es más preciso y popular, el método obtiene la resistividad del suelo para capas profundas sin enterrar los electrodos a dichas profundidades.

El presente proyecto de investigación busca realizar mediciones de puestas a tierra en los diferentes tipos de terreno para así poder analizar y ver la influencia de la resistividad del terreno.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

##### **1.1.1 Planteamiento del problema**

Los métodos de medición de la resistividad por métodos eléctricos tienen aplicación en la geología, en el estudio de suelos para detección de fallas o de aguas subterráneas, determinación de materiales entre otros, las ventajas que presentan estos métodos son: no se realiza ninguna perforación o alteración en el suelo de estudio y el bajo costo de su implementación. La mayoría de las contingencias eléctricas se deben a errores de alambrado, y de éstos la mayoría están relacionados con los sistemas de puesta a tierra, de aquí la necesidad de una investigación oportuna, por lo que la puesta a tierra es una conexión de seguridad humana y patrimonial que se diseña en los equipos eléctricos, electrónicos y otros sistemas para protegerlos de disturbios o transitorios por los cuales pudieran resultar dañados, recordemos que una falla es una fuga de corriente que busca un medio de conducción para drenar a tierra, este medio podría ser una persona y el riesgo es mayor si esta se encuentra en lugares húmedos, por lo que un sistema de puesta a tierra es vital para la protección contra este fenómeno.

Los procedimientos de diseño de un sistema de puesta a tierra se basan en conceptos tradicionales, pero su aplicación puede ser muy compleja es decir el proyecto se puede ver como ciencia pero la aplicación correcta es un arte, ya que cada instalación es única en su localización, tipo de suelo y equipos a proteger. Cuando se propone realizar la instalación de puesta a tierra, de inmediato pensamos en una varilla o una malla de metal conductora enterrada en nuestras instalaciones y que tiene el fin de confinar y dispersar en el terreno subyacente, descargas fortuitas, como eventos imprevistos, fenómenos artificiales o naturales como descargas electrostáticas, descargas atmosféricas y errores humanos, asumiendo su eliminación, sin embargo esto es incorrecto, ya que se ha demostrado que en estos puntos existen diferencias de potencial, valores que en un determinado momento se podría comparar con el potencial necesario con el que trabajan los aparatos electrodomésticos como refrigeradoras, televisores, licuadoras, hornos de microondas, computadoras, entre otros, por lo tanto realizar un sistema de puesta a tierra requiere de un cuidado especial y su realización debe hacerse por personas calificadas.

Ante esta situación en el Marco de la Ingeniería Eléctrica, el autor de la presente investigación, aborda las variables: SISTEMA DE PUESTA A TIERRA y RESISTIVIDAD DEL TERRENO, que al operacionalizarlas y correlacionarlas respectivamente nos darán una nueva perspectiva en el área de instalaciones eléctricas.

### 1.1.2 Formulación del problema

#### A) Problema general

¿Cómo influye la resistividad del terreno en la eficiencia del sistema de puesta a tierra Local – Sunarp Satipo – Junín 2018?

## B) Problemas específicos

- ¿Qué exactitud tiene el “Método de Wenner” mediante una proyección de la resistividad del terreno Local – Sunarp Satipo – Junín 2018?
- ¿Qué tipo de terreno es el más apropiado para la realización de una puesta a tierra Local – Sunarp Satipo – Junín 2018?
- ¿Qué papel juega el sistema de puesta a tierra en la seguridad de una instalación durante el drenado de corrientes de falla Local – Sunarp Satipo – Junín 2018?

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Determinar la influencia de la resistividad del terreno en la eficiencia del sistema de puesta a tierra. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la exactitud del “Método de Wenner” mediante una proyección de la resistividad del terreno. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018.
- Verificar el tipo de terreno más apropiado para la realización de una puesta a tierra. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018.
- Establecer el papel que juega el sistema de puesta a tierra en la seguridad de una instalación durante el drenado de corrientes de falla. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018.

## 1.3 Justificación e importancia

### 1.3.1 Justificación de la investigación

#### 1.3.1.1 Social

La realización del presente Plan de Tesis con la propuesta de sugerencias y conclusiones en la Tesis, resolverá de una u otra manera la problemática encontrada en la unidad de análisis, asimismo de otras empresas de la Región Junín.

#### 1.3.1.2 Científica

En la medida que, con el desarrollo y aplicación de la presente investigación se dará validez a la teoría propuesta para las variables: resistividad del terreno en la eficiencia del sistema de puesta a tierra. Local – Sunarp Satipo – Junín.

#### 1.3.1.3 Metodológica

La presente investigación constituirá un aporte metodológico para el diseño, construcción y validación de los instrumentos de recolección de datos.

### 1.3.2 Importancia de la investigación

La importancia de la investigación radica en la medida que logrando establecer los objetivos de la presente investigación tendremos en forma clara y precisa el establecimiento del papel que juega el sistema de puesta a tierra en la seguridad de una instalación durante el drenado de corrientes de falla. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018, y por otro lado tiene importancia académica, debido a que los resultados obtenidos contribuirán de una u otra manera a servir de antecedente para otros investigadores en el campo de la Ingeniería Eléctrica que traten con las variables propuestas en la investigación.

## 1.4 Hipótesis y descripción de variables

### 1.4.1 Hipótesis

#### 1.4.1.1 Hipótesis General

Ho= Nunca, la resistividad del terreno a través de: -composición del terreno, -salinidad, y –humedad, entre otros influye significativamente en la eficiencia del sistema de puesta a tierra. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018.

H1= Siempre, la resistividad del terreno a través de: -composición del terreno, -salinidad, y –humedad, entre otros influye significativamente en la eficiencia del sistema de puesta a tierra. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018.

#### 1.4.1.2 Hipótesis Específicas

##### A) Hipótesis Específicas “A”

Ho= Nunca, la exactitud del “Método de Wenner” mediante una proyección de la resistividad del terreno es del 75% aproximadamente. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018.

H1= Siempre, la exactitud del “Método de Wenner” mediante una proyección de la resistividad del terreno es del 75% aproximadamente. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018.

##### B) Hipótesis Específicas “B”

Ho= Nunca, la sensibilidad se da a través de: -la compactación, -estratigrafía del terreno y –t ° del terreno, para la determinación de los cambios en la resistividad del terreno. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018

H1= Siempre, la sensibilidad se da a través de: -la compactación, -estratigrafía del terreno y –t ° del terreno, para la determinación

de los cambios en la resistividad del terreno – Sunarp Satipo – Junín 2018

### C) Hipótesis Específicas “C”

Ho= Nunca, la: -baja impedancia, -interruptores diferenciales y,- sistema devanador óptimo, son elementos que proveen un ambiente más seguro para los usuarios, estructuras y equipos, reduciendo el riesgo que pueden ocasionar las fallas en una instalación eléctrica. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018

H1= Siempre, la: -baja impedancia, -interruptores diferenciales y,- sistema devanador óptimo, son elementos que proveen un ambiente más seguro para los usuarios, estructuras y equipos, reduciendo el riesgo que pueden ocasionar las fallas en una instalación eléctrica. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018

## 1.4.2 Variables, Operacionalización

### 1.4.2.1 Identificación De Variables

- Variable Independiente (x):  
Resistividad Del Terreno.
- Variable Dependiente (y):  
Sistema De Puesta A Tierra.

### 1.4.2.2 Operacionalización de Variables

**VARIABLE INDEPENDIENTE (x): RESISTIVIDAD DEL TERRENO.**

*Tabla 1. Operacionalización de variable independiente*

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	VALOR QUE ADOPTA LA VARIABLE -ÍTEMS																		
Conceptualmente se define como la propiedad que tiene el suelo para conducir electricidad, es conocida además como la resistencia específica del terreno, para su medición se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio ya que estos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición.	Operacionalmente se define como la resistencia que ofrece al paso de la corriente un cubo de terreno de un metro por lado de acuerdo con la norma NOM-008-SCFI-1993, conocida también como la propiedad que tiene el terreno para conducir la electricidad, conocida también como la resistencia específica del terreno.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sales solubles</li> <li>• Composición del terreno</li> <li>• Estratigrafía</li> <li>• Estado higrométrico</li> <li>• Temperatura</li> <li>• Compactación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La resistividad del suelo está determinada por la concentración de electrolitos, minerales y sales disueltas, cuando bajan los valores la resistividad es muy alta.</li> <li>• Depende de la naturaleza del mismo, para los terrenos rocosos es de 5000 ohmios o más alta.</li> <li>• A los 3 mts. De longitud de una varilla electrodo típico al menos se encuentran dos capas diferentes de suelos y a los 20 se encuentran diferentes perfiles de resistividad.</li> <li>• El contenido de agua y humedad influyen de manera apreciable, su valor varía con el clima, época del año, profundidad y el nivel freático</li> <li>• A medida que desciende la temperatura aumenta la resistividad del terreno y ese aumento se nota aún más al llegar a 0°C.</li> <li>• La resistividad del terreno disminuye al aumentar la compactación del mismo, por ello se procurará siempre colocar los electrodos en los terrenos más compactos posibles.</li> </ul>	<p>Las categorías diagnósticas consideradas para el instrumento están basadas en las puntuaciones directas del instrumento y tomando como criterio que la máxima puntuación, revela determinar la influencia de la resistividad del terreno en la eficiencia del sistema de puesta a tierra. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018</p> <p><b>Categorías Diagnósticas:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Cat. Dx.</th> <th>Rango</th> <th>Puntaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▪ Muy Alta</td> <td>17-20</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>▪ Alta</td> <td>14-17</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>▪ Media</td> <td>11-14</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>▪ Baja</td> <td>8-11</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>▪ Muy baja</td> <td>5-8</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Ítems:</b> a= 5, b = 4, c = 3, d = 2, e = 1. <b>Total = 15 puntos.</b> Escala de Licker</p>	Cat. Dx.	Rango	Puntaje	▪ Muy Alta	17-20	100	▪ Alta	14-17	80	▪ Media	11-14	60	▪ Baja	8-11	40	▪ Muy baja	5-8	20
Cat. Dx.	Rango	Puntaje																				
▪ Muy Alta	17-20	100																				
▪ Alta	14-17	80																				
▪ Media	11-14	60																				
▪ Baja	8-11	40																				
▪ Muy baja	5-8	20																				

Fuente: Elaboración propia.

*Tabla 2. Técnicas e instrumentos de la variable independiente*

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	PROCEDIMIENTOS	NATURALEZA	ESCALA DE MEDICIÓN	FORMA DE MEDIR
<p><b>TÉCNICAS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Observación</li> <li>▪ Medición</li> <li>▪ Evaluación</li> </ul> <p><b>INSTRUMENTOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ficha de Observación</li> <li>▪ Mediciones con el equipo</li> <li>▪ Ficha de evaluación</li> </ul>	<p>Las técnicas e instrumentos de la investigación se han estructurado de acuerdo a la evaluación de la exactitud del “Método de Wenner” mediante una proyección de la resistividad del terreno Local – Sunarp Satipo – Junín 2018</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Variable: Cualitativa-Cuantitativa</li> </ul>	<p>Nominal</p>	<p>Directa: Polítoma</p>

Fuente: Elaboración propia.

**VARIABLE DEPENDIENTE (y): SISTEMA DE PUESTA A TIERRA**

*Tabla 3. Operacionalización de variable dependiente*

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	VALOR QUE ADOPTA LA VARIABLE -ÍTEMS																		
Conceptualmente se define como el mecanismo de seguridad que forma parte de las instalaciones eléctricas y que consiste en conducir eventuales desvíos de la corriente hacia la tierra, impidiendo que el usuario entre en contacto con la electricidad.	Operacionalmente se define como un sistema que asegura que, ante cualquier falla de aislamiento, las partes metálicas de todo equipo eléctrico descarguen la corriente eléctrica a tierra, sin afectar al usuario que entre en contacto con el aparato eléctrico, evitando así que sufra una descarga eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tensiones significativas</li> <li>▪ Medidas suplementarias</li> <li>▪ Tipos de sistemas</li> <li>▪ Neutro aislado (SIT)</li> <li>▪ Neutro a tierra (STT)</li> <li>▪ Protección</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un sistema de puesta a tierra coordinado debe de reducir la posibilidad de tensiones importantes entre elementos metálicos adyacentes</li> <li>▪ Tomar medidas secundarias como: protectores, descargadores, dispositivos activos de supresión, entre otros.</li> <li>▪ Sistema de varilla “Cooper Well”, sistema de plancha. Sistema de red o mal, sistema de disco y sistema de esfera.</li> <li>▪ El neutro aislado de tierra o puede estar conectado a tierra por medio de una impedancia de alto valor.</li> <li>▪ El neutro está a tierra sólo en el transformador mientras que la instalación de puesta a tierra tiene un punto de referencia de tierra, no conectado al neutro, por lo que el neutro y el sistema de tierra se vinculan por la tierra misma.</li> <li>▪ Este sistema protege equipos eléctricos y electrónicos (que son costosos y vulnerables), prolongando su tiempo de vida útil, e inclusive el deterioro total de estos.</li> </ul>	<p>Las categorías diagnósticas consideradas para el instrumento están basadas en las puntuaciones directas del instrumento y tomando como criterio que la máxima puntuación, revela determinar la influencia de la resistividad del terreno en la eficiencia del sistema de puesta a tierra. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018</p> <p style="text-align: center;"><b>Categorías Diagnósticas:</b></p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Cat. Dx.</th> <th>Rango</th> <th>Puntaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▪ Muy Alta</td> <td>17-20</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>▪ Alta</td> <td>14-17</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>▪ Media</td> <td>11-14</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>▪ Baja</td> <td>8-11</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>▪ Muy baja</td> <td>5-8</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Ítems:</b> a = 5, b = 4, c = 3, d = 2, e = 1. <b>Total = 15 puntos.</b> Escala de Licker.</p>	Cat. Dx.	Rango	Puntaje	▪ Muy Alta	17-20	100	▪ Alta	14-17	80	▪ Media	11-14	60	▪ Baja	8-11	40	▪ Muy baja	5-8	20
Cat. Dx.	Rango	Puntaje																				
▪ Muy Alta	17-20	100																				
▪ Alta	14-17	80																				
▪ Media	11-14	60																				
▪ Baja	8-11	40																				
▪ Muy baja	5-8	20																				

Fuente: Elaboración propia.

*Tabla 4. Técnicas e instrumentos de la variable dependiente*

<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</b>	<b>PROCEDIMIENTOS</b>	<b>NATURALEZA</b>	<b>ESC. DE MEDICIÓN</b>	<b>FORMA DE MEDIR</b>
<p><b>TÉCNICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Encuesta</li> <li>• Entrevista</li> <li>• Revisión documental</li> </ul> <p><b>INSTRUMENTOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ficha de Encuesta</li> <li>• Guion de Entrevista</li> <li>• Formato de registro de datos</li> </ul>	<p>Las técnicas e instrumentos de la investigación se han estructurados de acuerdo a la verificación de la sensibilidad del “Método de Wenner” para determinar los cambios en la resistividad del terreno. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variable: Cualitativa– Cuantitativa</li> </ul>	<p>Nominal</p>	<p>Directa: Polítoma</p>

Fuente: Elaboración propia.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### 2.1 Antecedentes de la investigación.

**En el trabajo de investigación titulado: “Sistema Puesta a Tierra para el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Escuela de Ingeniería Electrónica”. En la Escuela de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes. Facultad de Informática y Electrónica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba – Ecuador. (1)**

El autor en su investigación realiza la excavación de 8 pozos y una zanja rectangular para un electrodo de 1.8 m de largo por 0.016 de diámetro que prevé un pozo con una profundidad de 2m y 1m de diámetro, las zanjas serán de 12m de largo, 6m de ancho y 5m de profundidad.

Para el relleno se utilizó tierra negra fina la cual fue esparcida lentamente alrededor de un tubo de 2.54 de diámetro y 1.6m de largo en el cual en su interior fue introducido el GEM (érico).

Una vez finalizado el relleno en los 8 pozos y en la zanjas se procede al pasado y tendido del conductor que unirá los electrodos de puesta a tierra con el borde de tierra del tablero eléctrico por el recorrido más corto.

En conclusión el autor de la investigación llegó a:

- El valor medido de la resistividad se ve afectado por las condiciones del terreno, el medio ambiente o temperatura.
- Es importante conocer la resistividad del terreno ya que depende de ello para obtener la resistencia puesta a tierra deseado.
- Para la medición de la resistividad requiere el conocimiento de las partes y el funcionamiento del equipo, además que debe cumplir con los ensayos típicos y las certificaciones respectivas.
- Las mallas puestas a tierra requieren de grandes áreas de terreno para obtener valores bajos de resistencia, por lo tanto aumenta el costo de construcción.
- El cálculo de resistencia puesta a tierra depende de la geometría del electrodo y de la manera como están ubicados en la tierra.
- La inspección, conservación y renovación de la puesta a tierra debe realizarse periódicamente, con el objetivo de controlar el valor de la resistencia puesta a tierra, para ello no solo basta la medición de la resistencia sino también verificar el estado de los electrodos y las uniones.
- El resultado obtenido del valor de la resistencia es muy buena, ya que las normas especifican que los sistemas de tierra de media tensión deben tener valores por debajo de los 5 ohmios lo que sería excelente. Pero al inicio del proyecto se puso como meta obtener valores por debajo de los 8 ohmios lo cual fue cumplido por el proyecto.

**En el artículo científico que lleva como título: “La resistividad del suelo en función de la frecuencia”. (2)**

El objetivo de la investigación es obtener los valores de estos parámetros o modelos de suelos, teniendo en cuenta la frecuencia de la señal de la fuente empleada para la prueba. La metodología desarrollada por Portela establece varios procedimientos de medición y tienen su fundamento en el alto número de ensayos realizados en muchísimos suelos con grandes diferencias geológicas, además de las mediciones sistemáticas de campo y laboratorio, variando el contenido de agua de las muestras. Lo más importante de dicha metodología es la obtención físicamente coherente con el comportamiento electromagnético del suelo. Como ejemplo del tratamiento que se debe de dar a la toma de las muestras y de los aspectos que se debe enfrentar en la medición, se hace necesario y trascendental que se esté seguro de mantener la estructura del suelo y la humedad en la muestra, con el fin de minimizar los efectos de heterogeneidad del suelo local.

La metodología comprende tres grupos de suelos que implican tres procedimientos:

- Para suelos compactos (que incluye las arcillas).
- Para suelos pulverulentos (incluye la arena).
- Para rocas.

**Esta tesis que tiene como título: “Sistema de Puesta a Tierra y Protección Equipotencial para Sistemas de Computo”. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo – Perú. (3)**

El aporte que realizó es sobre la medición de la resistividad de un terreno donde dice que es un requisito indispensable antes de diseñar las puestas a tierra para una instalación.

El autor de la investigación considera que el método más adecuado para mallas de puestas a tierra, es el de Wenner, el cual desarrolla a continuación: Es un caso particular del método de los cuatro electrodos, solo que aquí se disponen en línea recta y equidistante una distancia “a”, simétricamente respecto al punto en el que se desea medir la resistividad del suelo, no

siendo necesario que la profundidad de los electrodos auxiliares, sobrepase los 30 cm.

El aparato de medida es un telurómetro clásico con cuatro terminales, siendo los dos electrodos extremos los de inyección de la corriente de prueba (I) y los dos centrales los electrodos de medida del potencial (P).

En la práctica se puede admitir que la resistividad aparente es, básicamente la de las capas comprendidas entre la superficie del suelo y la profundidad a la cual la densidad de corriente se ha reducido a la mitad de su valor en la superficie, es decir, la profundidad de investigación es "0.75 a".

El eje del sondeo eléctrico vertical y en consecuencia, de medida de resistividad, se encuentra en el medio del sistema simétrico compuesto por los cuatro electrodos, entre los dos de potencial.

Y llega a las siguientes conclusiones:

- La puesta a tierra de los equipos refieren la conexión intencional de carcasas, bastidores o estructuras metálicas, logrando mantener una diferencia de voltaje baja entre las diferentes estructuras metálicas, con lo que se resguarda al personal de cualquier choque eléctrico. Esto contribuye a un mejor desempeño de los sistemas eléctricos y electrónicos; evita incendios provocados por materiales volátiles o combustión de gases al mantener un camino seguro para la circulación de corrientes de falla y descargas atmosféricas. Por razones de seguridad del personal y buen desempeño de sistema, el diseño, correcta instalación, mantenimiento y monitoreo del sistema de puesta a tierra es necesario para cumplir con lo anterior.
- El uso del electrodo en toda puesta de tierra es indispensable, no solo porque se consigue la menor resistencia para la instalación, sino también, porque este es el esqueleto de la misma. La variedad de electrodos en el medio da la oportunidad de su implementación en cualquier terreno, ya sea seco, rocoso o húmedo; además de sus diferentes formas geométricas, también permite realizar configuraciones

acoplándose a las topologías del terreno así como sus dimensiones, esto siempre bajo las normas establecidas de instalación de los mismos.

- Si el equipo tiene un camino separado a tierra, además de la barra de tierra, entonces ese camino paralelo permitirá que la corriente del rayo fluya a través del chasis del equipo, causando daños. Por lo que se requiere un único punto de tierra.
- Para un subsistema de tierra interno se debe tener un camino de impedancia baja de conexión a tierra y también conseguir una diferencia de potencial mínima entre las estructuras conductoras dentro del sitio, eliminando cualquier onda de sobretensión que fluya, a través de los equipos del sitio. La barra principal de tierra es una barra de cobre usada como un punto de unión de baja resistencia para todas las tierras interiores. Todos los equipos de RF se conectan directamente a esta barra principal. Esta barra se conecta al sistema de tierra externo, como también la tierra de servicio AC, y otros caminos a tierra como estructuras metálicas.
- Es importante conocer el valor de la resistividad del terreno, para la instalación del sistema de puesta a tierra. Por lo que es imprescindible que la resistividad del terreno para el sistema de puesta a tierra sea lo mayor eficiente posible. Este valor puede variar por factores como humedad, compactibilidad del terreno, como los demás mencionados.
- Basados en el modelo económico y el tiempo de recuperación de la inversión se tiene que con un 4% dedicado a un sistema de puesta a tierra se está asegurando que el personal y equipo se encuentran protegidos contra cualquier tipo de descargas y sobre tensiones. A su vez, se tiene que por pérdidas de componentes ya sea por robo o mal funcionamiento se requiere un 2.5% de los ingresos mensuales como máximo, para tener a salvo los sistemas de telecomunicaciones, se concluye completamente factible su instalación, mantenimiento y reposición.
- Los resultados que se obtienen quedarán registrados en los protocolos de prueba, en donde se podrá observar en la gráfica el valor de la

resistencia resultante en (ohm) de la malla al 62% de la distancia entre electrodos. El valor de resistencia deberá estar dentro de los rangos aceptables según los estándares.

**En el trabajo de investigación titulado: “Análisis experimental de métodos de medición de resistividad del terreno para evaluar su profundidad de exploración”. Programa de Ingeniería Eléctrica. Facultad de Ingeniería. Universidad de la Salle. Bogotá – Colombia. (4)**

En su investigación el autor realiza una inflexión sobre los métodos de resistividad por métodos eléctricos que tienen aplicación en la geología, en el estudio de suelos para la detección de fallas o de aguas subterráneas, determinación de materiales, entre otros, las ventajas que presentan estos métodos son: no se realiza ninguna perforación o alteración en el suelo de estudio, y el bajo costo de su implementación. Los métodos de medición de la resistividad son básicamente el método de Wenner y el de Schlumberger que consideran las distancias entre electrodos enterrados en el suelo y las relaciones entre las corrientes y tensiones, debidas a la inyección de corriente a un material, en la práctica la implementación de estos métodos se realiza así: se entierra 4 electrodos dispuestos en línea recta, los dos electrodos externos se utilizan para inyectar corriente al suelo, los dos electrodos internos se utilizan para medir la diferencia de potencial debido a la inyección de corriente al suelo, y a partir del valor de la resistencia obtenida, se calcula el valor de la resistividad aparente del suelo. A diferencia de otros métodos los electrodos tanto de inyección de corriente como de medición de diferencia de potencial están separados por una longitud equidistante, el método también considera la profundidad de enterramiento de los electrodos, se debe asegurar que la profundidad de enterramiento sea mucho menor a la distancia entre electrodos, la norma sugiere un valor de 0.1 donde sea posible. A diferencia del método de Schlumberger, donde los electrodos de medición de diferencia de potencial están separados por una longitud “d”, por otro lado los electrodos de inyección de corriente están

separados por una distancia “c”, con respecto a los electrodos de medición de diferencia de potencial, en consecuencia los dos electrodos de corriente están separados por una distancia  $2c+d$ .

El investigador llegó a las siguientes conclusiones:

- las profundidades de exploración máximas estimadas, fueron para el método Wenner de  $22.77\pm 0.29$  m y para el método de Schlumberger  $30.1\pm 0.7$ m.
- Para profundidades de exploración menor o iguales a 4 m. se obtuvo una media de diferencia de 18 ohmios por m. y se obtuvo una desviación estándar de 11.4 y 7.3 para ambos métodos.
- A profundidades de exploración de 4 m. a 40 m. se obtuvo una media de la diferencia de 7.4 ohmios y 15.2 para el método de Wenner.
- A profundidades de exploración mayores de 40 m se obtuvo una media de la diferencia de 4.6 ohmios por m. y una desviación estándar de 2.0 para el método de Schlumberger.

**En esta publicación de investigación titulada: “Guía de la medición de tierra – Controladores de tierra y resistividad”. Ibérica S.A. Barcelona – España. (5)**

En la presente publicación se afirma que en cualquier instalación doméstica e industrial la conexión de una toma de tierra es una de las reglas básicas a respetar para garantizar la seguridad de la red eléctrica, la ausencia de una toma de tierra podría suponer serios riesgos para la vida de las personas y poner en peligro las instalaciones eléctricas y los bienes, sin embargo la presencia de una toma de tierra no es suficiente para garantizar una seguridad total, sólo controles realizados con regularidad pueden probar el correcto funcionamiento de la instalación eléctrica. Existen numerosos métodos de medición de tierra dependiendo del tipo de regímenes de neutro, del tipo de instalación y de la posibilidad de dejar sin tensión la instalación. La puesta a tierra consiste en realizar una conexión eléctrica entre un punto dado de la red, de una instalación o de un material y una toma de tierra, esta

toma de tierra es una parte conductora que se puede incorporar en el suelo o dentro de un medio conductor, en contacto eléctrico con la tierra. La puesta a tierra permite así conectar a una toma de tierra, a través de un cable conductor, las masas metálicas que corren el riesgo de entrar en contacto casualmente con la corriente eléctrica debido a un defecto de aislamiento en un dispositivo eléctrico. La corriente de defecto no representará en este caso ningún peligro para las personas ya que podrá eliminarse por la tierra, si una puesta a tierra, la persona quedará sometida a una tensión eléctrica que, según su importancia puede ocasionarle la muerte. La puesta a tierra permite entonces eliminar sin riesgo las corrientes de fuga y asociada a un dispositivo de corte automático originar la desconexión de la instalación eléctrica. Una buena puesta a tierra garantiza por lo tanto la seguridad de las personas, pero también la protección de los bienes e instalaciones en caso de rayo o de intensidades de defecto, por lo que siempre debe estar asociada a un dispositivo de corte.

El investigador llegó a las siguientes conclusiones:

- El valor de la resistencia de tierra es sensible a la temperatura y a la humedad, siendo normal que medidas realizadas en condiciones meteorológicas distintas sean notablemente diferentes
- Una medida de tierra de 3 polos con abertura del puente de comprobación permite por lo tanto medir realmente la resistencia de la toma de tierra, mientras que una medida de bucle también tomará en cuenta la puesta a tierra a través de las tomas de tierra.
- Está prohibido utilizar las canalizaciones metálicas enterradas a modo de tomas de tierra, asimismo utilizar las columnas montantes metálicas para el agua a modo de conductor principal de protección.
- El uso del método pasivo permite comprobar la coherencia de medidas obtenidas con el método activo y garantiza la obtención de resultados de medida sean cual sean las condiciones.

**En el trabajo de investigación titulado: “Análisis de técnicas para medición de la resistividad de terreno mediante modelado”. Escuela Superior de Ingeniería. Mecánica y Electricidad. Para obtener el título de Ingeniero Electricista. Instituto Politécnico Nacional. México. (6)**

En su investigación la autora describe que el sistema de puesta a tierra es de suma importancia en una instalación eléctrica, ya que influye de manera directa en la seguridad tanto de personas como del equipo, el contar con un modelo adecuado de la resistividad del terreno determina en buena medida el diseño correcto de los sistemas de puesta a tierra, el método de Wenner es un método muy utilizado para determinar experimentalmente el valor de la resistencia equivalente del suelo en un lugar determinado, independientemente de las medidas de seguridad con las que actualmente cuentan los equipos eléctricos es importante que todas las que actualmente cuentan los equipos eléctricos es importante que todas las instalaciones eléctricas incluyan una red de tierra correctamente diseñada. La red de tierra debe asegurar un camino de baja impedancia para las corrientes de falla o por descargas atmosféricas reduciendo así el riesgo de accidentes a personas y daños a equipos. Así pues, en los edificios destinados a viviendas, edificios corporativos, industrias, etc. se instalan sistemas de puesta a tierra acompañados de interruptores diferenciales de alta sensibilidad que garantizan la seguridad de las personas. Se puede definir a la puesta o conexión a tierra como la conexión eléctrica directa de todas las partes metálicas de una instalación, sin fusibles u otros sistemas de protección, a uno o varios electrodos enterrados en el suelo, la puesta a tierra tiene como objetivo conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficies próximas conectadas a ésta área, no existan diferencias de potencial peligrosas que al mismo tiempo permita el paso a tierra de las corrientes originadas por descargas atmosféricas, la finalidad principal de una puesta a tierra es limitar la tensión que con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado determinados puntos de instalación. El suelo al igual que cualquier material conductor eléctrico, se opone en cierta medida al paso de

la corriente eléctrica es decir presenta un valor de resistencia. La resistividad del suelo es la resistencia específica del terreno donde se instalará el sistema de puesta a tierra, por lo que el valor de la resistividad cambia de manera importante con el tipo de terreno.

La investigadora llegó a las siguientes conclusiones:

- El sistema de tierras es de suma importancia en una instalación eléctrica, ya que influye de manera directa en la seguridad tanto de personas como del equipo, el contar con un modelo adecuado de la resistividad del terreno determina en buena medida el correcto diseño de los sistemas de puesta a tierra.
- La investigación presenta un modelo utilizando el método del elemento finito para determinar la resistividad del terreno siguiendo el método de Wenner, originando simulaciones con el MEF que son bastante cercanas a los valores obtenidos en los reportes experimentales.
- Para la utilización del programa en Matlab para el método de Tagg, se puede observar que los valores obtenidos de resistividad de la segunda capa y profundidad de la primera presentan diferencias que pueden llegar a ser significativas con respecto a los valores reales.
- La profundidad de los electrodos afecta considerablemente a la exactitud de las mediciones cuando el espaciamiento entre electrodos es menor a su longitud, por lo que al aumentar la distancia entre electrodos el efecto de la profundidad de éstos es menos significativo.

## 2.2 Bases teóricas

Aspectos generales del área de estudio. Sistema de puesta a tierra y resistividad del terreno.

### 2.2.1 Métodos de medición de resistividad

Los métodos Wenner y Schlumberger son formulaciones matemáticas, para estimar valores de resistividad aparente, que

consideran las distancias entre electrodos enterrados en el suelo y las relaciones entre las corrientes y tensiones, debidas a la inyección de corriente a un material. **(7)**

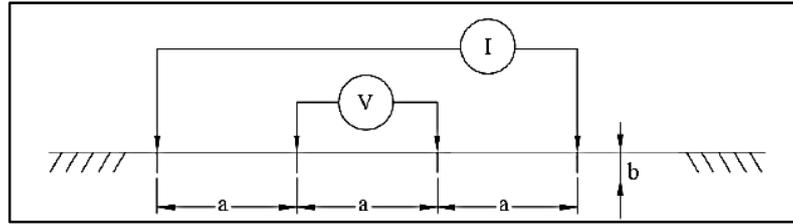
En la práctica, la implementación de estos métodos, se realiza de la siguiente forma:

- Se entierran 4 electrodos, dispuestos en línea recta.
- Los dos electrodos externos, se utilizan para inyectar corriente al suelo.
- Los dos electrodos internos, se utilizan para medir la diferencia de potencial, debida a la inyección de corriente al suelo.
- Se hace la relación de diferencia de potencial, con la corriente inyectada para obtener el valor de resistencia del suelo.
- A partir del valor de la resistencia obtenida, se calcula el valor de la resistividad aparente del suelo.

#### A. Método Wenner

También llamado arreglo igualmente espaciado. En este método, todos los electrodos, tanto de inyección de corriente, como de medición de diferencia de potencial, están separados por una longitud equidistante  $a[m]$ . El método también considera la profundidad de enterramiento de los electrodos  $b[m]$ , como se muestra en la figura 1.

*Figura 1 Arreglo de electrodos para el método Wenner.*



Fuente: IEEE Std. 81. (2012).

El cálculo de resistividad aparente, se realiza a partir de la ecuación 1.

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

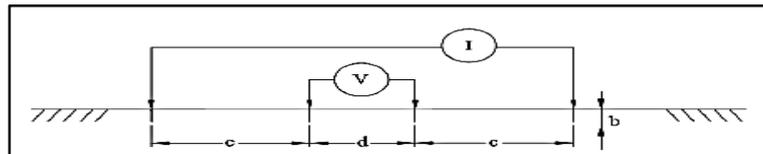
Donde,

**R**: Valor de resistencia, obtenido de la relación entre diferencia de potencial y corriente inyectada ( $\Omega$ ). **(8)**

#### B. Método Schlumberger

Para es una modificación del método Wenner. En este método, los electrodos de medición de diferencia de potencial, están separados por una longitud  $d$  [m]. Por otro lado, los electrodos de inyección de corriente están separados por una distancia  $c$  [m], con respecto a los electrodos de medición de diferencia de potencial. En consecuencia, los dos electrodos de corriente están separados por una distancia  $2c+d$ , como se muestra en la figura 2. **(9)**

*Figura 2. Arreglo de electrodos para el método Schlumberger.*



Fuente: IEEE Std. 81. (2012).

El cálculo de resistividad aparente, se realiza a partir de la ecuación 3.

$$\rho = \frac{\pi(c+d)R}{d}(3)$$

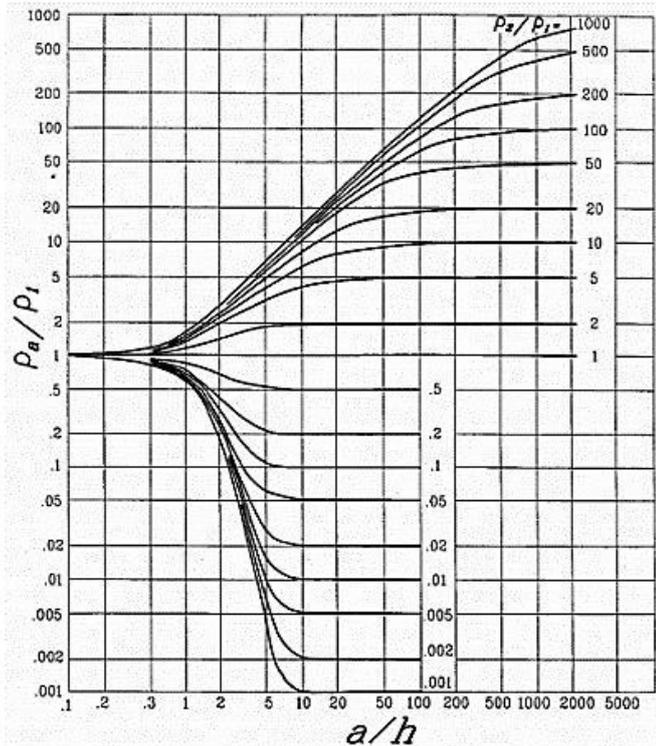
Se debe asegurar que la profundidad de enterramiento  $b$ , sea mucho menor a la distancia entre electrodos  $C$ . **(10)**

## 2.2.2 Modelos de capas del suelo

### 2.2.2.1 Método gráfico de Sunde

Es un método gráfico, que solo puede ser utilizado con el arreglo Wenner. Se basa en un modelo de dos capas del suelo homogéneas, una capa de profundidad finita con un valor de resistividad  $\rho_1$ , y una capa inferior de profundidad infinita con valor de resistividad  $\rho_2$ . Los valores de  $\rho_1$  y  $\rho_2$ , se obtienen de la curva de Sunde, mostrada en la figura 3. Finalmente, el parámetro  $h$  se obtiene de la relación de  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  y la distancia entre electrodos  $a$ .

*Figura 3. Método gráfico de Sunde*



Fuente: IEEE Std. 81 (2012)

Este método, presenta la desventaja que no permite establecer, con exactitud, el tipo de material de la capa que se está estudiando. **(11)**

### 2.2.2.2 Modelo Multicapas

A partir de los valores de resistividad y distancias entre los arreglos de los métodos, obtenidos de las mediciones superficiales de determinada zona de estudio, se busca obtener el modelo de capas del suelo, con sus valores de profundidades y resistividades correspondientes, para ello se pretende por medio del problema inverso, resolver los parámetros del modelo. Aunque no hay duda, acerca de una única solución al problema, se puede cuestionar la existencia matemática del problema planteado, debido a las infinitas soluciones posibles. Se requiere de métodos de mínimos cuadrados que tratan de resolver esta dificultad regularizando el problema, que consiste básicamente en añadir información

a priori, se utiliza la regularización de Tikhonov en el software manejado en este trabajo. **(8)**

### 2.2.3 Definición de los datos de referencia

Con el propósito de obtener los datos de referencia de investigación, se realizó una primera consulta de las características de resistividad de la zona de estudio, en el documento “Microzonificación de Santa Fe de Bogotá”, que contiene información de suelos, en un corte de la zona norte de Bogotá (Figura 6) **(12)**. Sin embargo, este corte corresponde a una zona lejana a la zona de estudio. En consecuencia, fue necesario contratar un estudio, para obtener los valores resistividad, en el lugar exacto de la investigación. El estudio fue realizado por una empresa especializada en prospecciones eléctricas. **(13)**

#### 2.2.3.1 Metodología implementada por la empresa

##### 2.2.3.1.1 Equipo utilizado para las mediciones.

La empresa utilizó un medidor de resistividad Super Sting R1 IP (Figura 4). Las características técnicas, más relevantes de este equipo, son las siguientes:

- Potencia de salida: 200 W.
- Unidad de transmisión de hasta 800 V, con resolución de medida de 30 nV.
- Salida de corriente, entre 1 mA. a 2 A.
- Unidad receptora digital y unidad de transmisión digital, de hasta 1000 V.

Las características técnicas detalladas, se muestran en la tabla B.1 del anexo B. **(14)**

*Figura 4. Medidor de resistividad Super Sting R1 IP.*

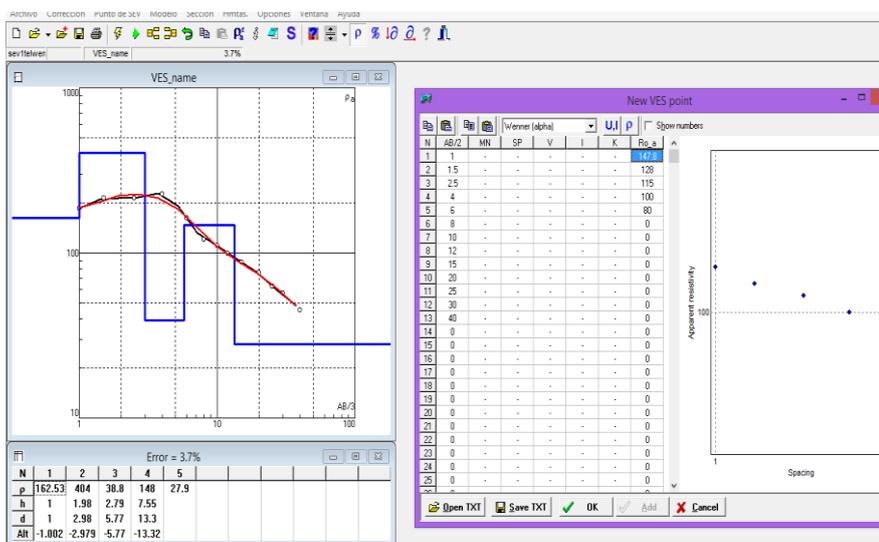


Fuente: Chauvin Arnoux Group. Guía de la medición de tierra (2014).

#### 2.2.3.1.2 Software de caracterización del suelo

El software implementado para caracterizar el suelo, a partir de los datos medidos por la empresa, y por los investigadores, fue el IPI2WIN. Este software es de libre distribución y uso, para interpretar sondeos eléctricos verticales, o mediciones de resistividad. La interfaz gráfica de la aplicación, se muestra en la figura 5. Los valores de entrada de la aplicación son los valores de resistividad y distancia entre electrodos, para los diferentes arreglos. La aplicación arroja un modelo de capas de suelo, con valores de resistividad y de profundidad asociados. **(15)**

Figura 5. Interfaz gráfica software de caracterización del suelo.



Fuente: Chauvin Arnoux Group. Guía de la medición de tierra (2014).

### 2.2.3.1.3 Implementación de las mediciones.

La empresa realizó 3 mediciones en el lugar de estudio, denotados como SEV-1E, SEV-2E y SEV-3E. Antes de cada medición, se establecieron las coordenadas geográficas, mediante un GPS. Posteriormente, se definió la longitud máxima del arreglo de electrodos, para las 3 mediciones, denotada como AB. Las coordenadas obtenidas y las distancias AB, se muestran en la tabla 2. Las mediciones fueron realizadas con el método Schlumberger, el día 1 de noviembre de 2016 entre 7 am a 12 pm. En la figura 6, se muestran dos imágenes de la implementación del método, en la zona de estudio. **(13)**

Tabla 5. Coordenadas obtenidas por la empresa.

DENOTACION	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN BOGOTÁ		AB [m]
	ESTE [m]	NORTE [m]	
SEV-1E	1.005.507	1.017.599	120
SEV-2E	1.005.533	1.017.613	150
SEV-3E	1.005.554	1.017.633	140

Fuente: EH & A S.A.S. 2.016

*Figura 6. Imágenes de las mediciones realizadas por la empresa.*



Fuente: EH & A S.A.S. (2016).

### 2.2.3.2 Resultados

Los resultados completos, proporcionados por la empresa, se encuentran en el anexo A. A continuación, se muestran los resultados, para cada uno de los arreglos, denotados como: SEV 1E, SEV 2E y SEV 3E. **(16)**

#### 2.2.3.2.1 Resultados SEV 1E.

En la tabla 2, se muestran los resultados de resistividad, para el SEV 1E. El parámetro  $MN/2$ , corresponde a la distancia media entre electrodos internos o electrodos de medición de diferencia de potencial. El parámetro  $AB/2$ , corresponde a la distancia media entre electrodos externos o electrodos de inyección de corriente. **(17)**

*Tabla 6. Resultados de resistividad para el SEV. 1E.*

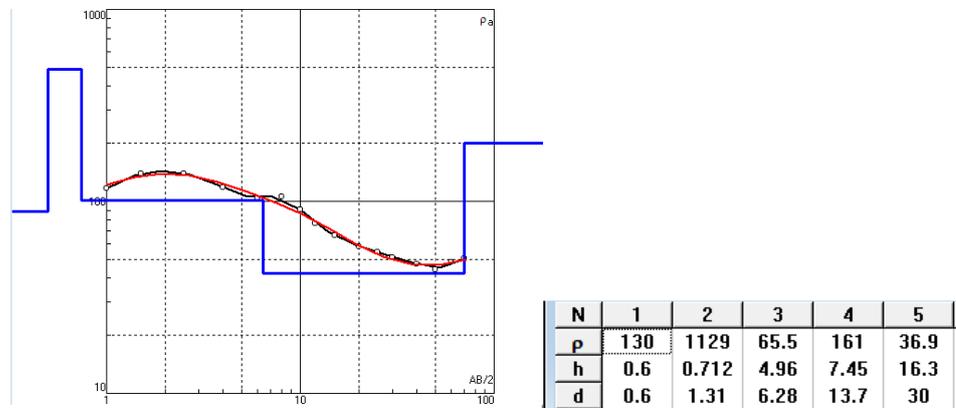
**Tabla 3. Resultados de resistividad para el SEV 1E**

Resultados SEV 1E		
MN/2 (m)	AB/2 (m)	Resistividad ( $\Omega$ m) *
0.5	1	181.0 $\pm$ 1.8
0.5	1.5	228.8 $\pm$ 2.3
0.5	2.5	300.7 $\pm$ 3.0
0.5	4	276.7 $\pm$ 2.7
0.5	6	215.9 $\pm$ 2.1
0.5	8	161.0 $\pm$ 1.6
0.5	10	131.9 $\pm$ 1.3
0.5	12	115.5 $\pm$ 1.1
0.5	15	105.2 $\pm$ 1.0
5	15	95.70 $\pm$ 0.95
5	20	91.28 $\pm$ 0.91

Fuente: IPI2 -Win Guía de usuario (2000).

Los resultados mostrados en la tabla 3, fueron procesados en la aplicación IP2Win, utilizando el modelo multicapa. La aplicación permite visualizar las curvas de cada sondeo realizado y estimarlas siguientes características de las capas de suelo implicadas: resistividad  $\rho$  ( $\Omega$ m), profundidad  $h$  (m) y profundidad acumulada  $d$  (m). En la figura 7, se muestra la curva de resistividad para el SEV 1E.

*Figura 7. Curva de resistividad SEV 1E:  $\rho$  vs AB/2 y valores de  $\rho$ ,  $h$  y  $d$ .*



Fuente: EH & A S.A.S. (2016).

Los resultados mostrados en la figura 7, se realizó la estimación de materiales de capas del terreno, basados en la tabla “Valores típicos de resistividad” del trabajo (18). Los valores estimados de profundidad de cada capa, resistividad aparente correspondiente y el posible terreno asociado al valor de resistividad, se muestran en la tabla 3.

*Tabla 7. Posibles terrenos para el SEV 1E empresa.*

Profundidad (m)	Resistividad ( $\Omega$ m)	Posible terreno
0.6	130	Humus
1.31	1129	Arena silicia
6.28	65.5	Limos saturados
13.7	161	Limos no saturados
30	36.9	Arcillas no saturadas

Fuente: EH & A S.A.S. (2016).

#### 2.2.3.2.2 Resultados SEV. 2E.

El procedimiento para el SEV 2E, es el mismo que se implementó para SEV 1E. En la tabla 5 se muestran los resultados de resistividad, para el SEV 2E.

*Tabla 8. Resultados de resistividad para el SEV. 2E.*

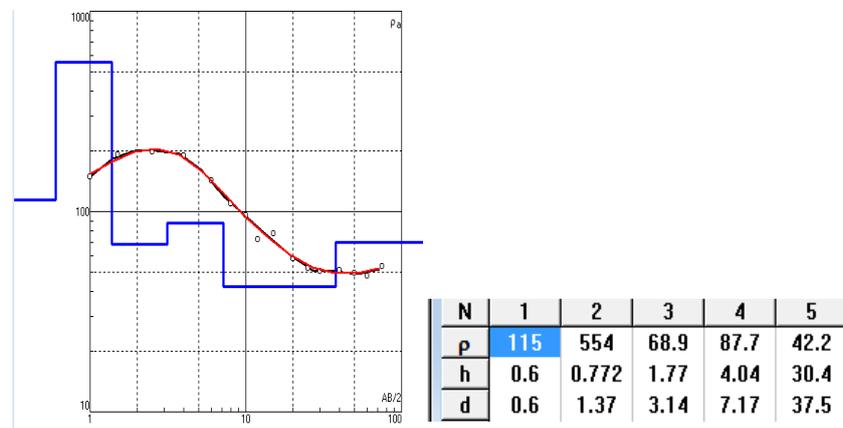
RESULTADOS SEV 2E		
MN/2 (m)	AB/2 (m)	Resistividad ( $\Omega$ m) *
0.5	1	148.4± 1.4
0.5	1.5	191.1 ± 1.9
0.5	2.5	199.6 ± 1.9
0.5	4	190.6 ± 1.9
0.5	6	141.8 ± 1.4
0.5	8	109.4 ± 1.0
0.5	10	95.98 ± 0.95
0.5	12	72.42 ± 0.72
0.5	15	75.63 ± 0.75
5	15	78.78 ± 0.78
5	20	57.91 ± 0.57
5	25	52.04 ± 0.52
5	30	48.67 ± 0.48

10	30	51.52 ± 0.51
10	40	50.78 ± 0.50
10	50	49.29 ± 0.49
10	60	47.85 ± 0.47
10	75	53.30 ± 0.53
25	75	52.97 ± 0.52

Fuente: EH & A S.A.S. (2016).

Ahora, en la figura 8, se muestra la curva de resistividad para el SEV-2E.

Figura 8. Curva de resistividad SEV. 2E:  $\rho$  vs  $AB/2$  y valores de  $\rho$ ,  $h$  y  $d$ .



Fuente: EH & A S.A.S. (2016).

Finalmente, los valores estimados de profundidad de cada capa, resistividad aparente correspondiente y el posible terreno asociado al valor de resistividad, se muestran en la tabla 6.

Tabla 9. Posibles terrenos para el SEV 2E empresa.

Profundidad (m)	Resistividad ( $\Omega$ m)	Posible terreno
0.5	89	Turba húmeda o humus
0.745	485	Arenas no saturadas
6.4	101	Limos no saturados
70	42.1	Arena limosa mal grabada saturada

Fuente: EH & A S.A.S. 2.016.

### 2.2.3.2.3 Resultados SEV. 3E.

El procedimiento para el SEV 3E, es el mismo que se implementó para SEV 1E. En la tabla 7 se muestran los resultados de resistividad, para el SEV 3E.

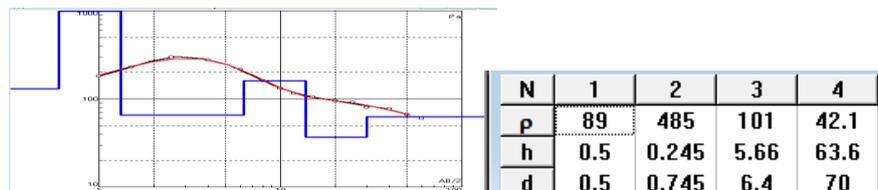
*Tabla 10. Resultados de resistividad para el SEV 3E.*

RESULTADOS SEV 3E		
MN/2 (m)	AB/2 (m)	Resistividad ( $\Omega$ m)
0.5	1	117.3 $\pm$ 1.1
0.5	1.5	139.8 $\pm$ 1.3
0.5	2.5	139.8 $\pm$ 1.3
0.5	4	118.0 $\pm$ 1.1
0.5	6	103.9 $\pm$ 1.0
0.5	8	105.6 $\pm$ 1.0
0.5	10	90.58 $\pm$ 0.90
0.5	12	76.55 $\pm$ 0.76
0.5	15	68.98 $\pm$ 0.68
5	15	63.95 $\pm$ 0.63
5	20	58.32 $\pm$ 0.58
5	25	54.40 $\pm$ 0.54
5	30	52.25 $\pm$ 0.52
10	30	50.03 $\pm$ 0.50
10	40	46.97 $\pm$ 0.46
10	50	44.16 $\pm$ 0.44
10	60	48.24 $\pm$ 0.48
10	70	49.91 $\pm$ 0.49
25	70	50.22 $\pm$ 0.50

Fuente: EH & A S.A.S. 2.016.

Ahora, en la figura 9, se muestra la curva de resistividad para el SEV 3E.

*Figura 9. Curva de resistividad SEV 3E:  $\rho$  vs AB/2 y valores de  $\rho$ , h y d.*



Fuente: EH & A S.A.S. (2016)

Finalmente, los valores estimados de profundidad de cada capa, resistividad aparente correspondiente se muestran en la tabla 8. **(19)**

*Tabla 11. Posibles terrenos para el SEV. 3E empresa.*

<b>Profundidad</b>	<b>Resistividad</b>	<b>Posible terreno</b>
0.6	115	Humus
1.37	554	Arena limosa no saturada
3.14	68.9	Limos saturados
7.17	87.7	Arcillas compactas
37.5	42.2	Arena limosa saturada

*Fuente: EH & A S.A.S. (2016).*

### 2.2.3.3 Análisis de resultados

Los resultados del SEV 1E, SEV 2E y SEV 3E, obtenidos con la aplicación IPI2WIN, se extrajeron los valores de profundidad máxima de medición, y se compararon con las distancias teóricas AB/2 máximas (Tabla 8).

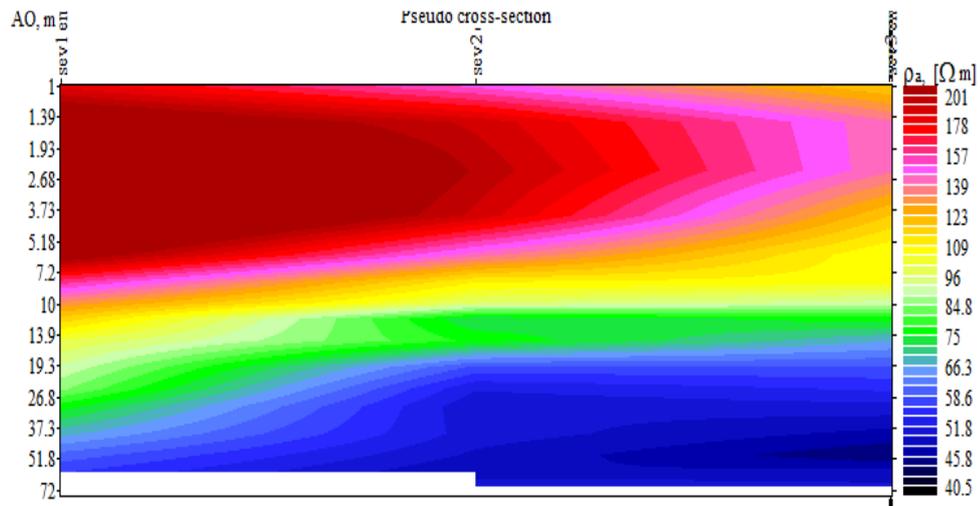
*Tabla 12. Medición realizada por la empresa, distancia AB/2, y profundidad total de las capas.*

<b>Medición</b>	<b>Distancia entre electrodos AB/2 (m)</b>	<b>Profundidad máxima de medición (m)</b>
SEV 1-E	60	30.0 ± 0.7
SEV 2-E	70	37.5 ± 0.9
SEV 3-E	70	70.0 ± 2.6

*Fuente: EH & A S.A.S. (2016).*

Además, el software IPI2WIN entrega una aproximación del perfil de resistividad del suelo, como se muestra en la figura 10. Cada valor de resistividad tiene un color asignado.

*Figura 10. Perfil de resistividad del lugar de estudio*



Fuente: EH & A S.A.S. (2016).

Finalmente, de la información mostrada en la tabla 9 y la figura 10, se puede establecer, como referencia de la investigación, un rango máximo de exploración, entre 30 a 70 m. **(19)**

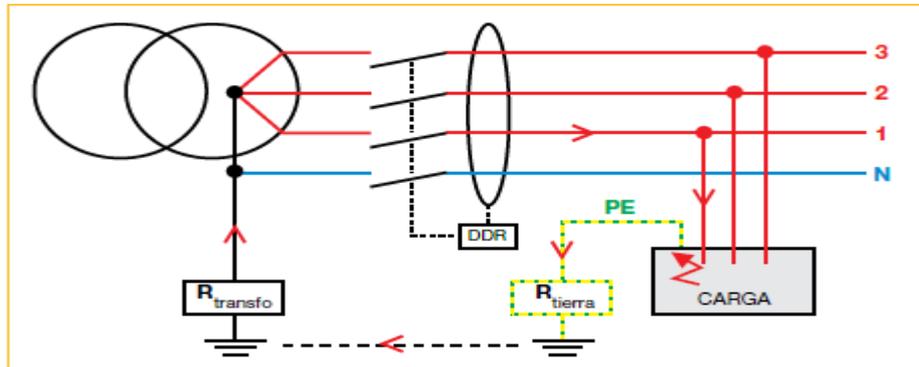
#### 2.2.4 La medición de tierra

En cualquier instalación doméstica e industrial, la conexión de una toma de tierra es una de las reglas básicas a respetar para garantizar la seguridad de la red eléctrica. La ausencia de una toma de tierra podría suponer serios riesgos para la vida de las personas y poner en peligro las instalaciones eléctricas y los bienes. Sin embargo, la presencia de una toma de tierra no es suficiente para garantizar una seguridad total. Sólo controles realizados con regularidad pueden probar el correcto funcionamiento de la instalación eléctrica. Existen numerosos métodos de medición de tierra dependiendo del tipo de regímenes de neutro, del tipo de instalación (doméstico, industrial, medio urbano, rural, etc.) y de la posibilidad de dejar sin tensión la instalación. **(20)**

A. ¿Por qué es necesaria una puesta a tierra?

La puesta a tierra consiste en realizar una conexión eléctrica entre un punto dado de la red, de una instalación o de un material y una toma de tierra. Esta toma de tierra es una parte conductora, que se puede incorporar en el suelo o dentro de un medio conductor, en contacto eléctrico con la Tierra. La puesta a tierra permite así conectar a una toma de tierra, a través de un cable conductor, las masas metálicas que corren el riesgo de entrar en contacto casualmente con la corriente eléctrica debido a un defecto de aislamiento en un dispositivo eléctrico. La corriente de defecto no representará en este caso ningún peligro para las personas, ya que podrá eliminarse por la tierra. Sin una puesta a tierra, la persona quedará sometida a una tensión eléctrica que, según su importancia, puede ocasionar la muerte. La puesta a tierra permite entonces eliminar sin riesgo las corrientes de fuga y, asociada a un dispositivo de corte automático, originar la desconexión de la instalación eléctrica. Una buena puesta a tierra garantiza por lo tanto la seguridad de las personas, pero también la protección de los bienes e instalaciones en caso de rayo o de intensidades de defecto. Siempre debe estar asociada a un dispositivo de corte. Ejemplo: En caso de defecto de aislamiento en la carga, la corriente de defecto se elimina por la tierra a través del conductor de protección (PE). Según su valor, la corriente de defecto ocasiona un corte automático de la instalación al poner en funcionamiento el interruptor diferencial (DDR). **(21)**

*Figura 11. Esquema de funcionamiento del interruptor diferencial.*



Fuente: Chauvin Arnoux Group. Guía de la medición de tierra. (2014).

## B. ¿Qué valor de resistencia de tierra debe encontrarse?

Antes de efectuar una medida de tierra, la primera cuestión fundamental que uno debe plantearse es saber cuál es el valor máximo admisible para asegurarse de que la toma de tierra sea correcta. Las exigencias en materia de valor de resistencia de tierra son distintas según los países, los regímenes de neutro utilizados o el tipo de instalación. Por ejemplo, un distribuidor de energía tipo EDF (empresa de generación y distribución eléctrica de Francia) solicitará a menudo una resistencia de tierra extremadamente débil del orden de unos ohmios. Es importante informarse previamente sobre la norma vigente para la instalación a probar. **(22)**

- Tomemos como ejemplo una instalación en esquema TT para las viviendas en Francia.-

En una instalación, para garantizar la seguridad de las personas, los dispositivos de protección deben actuar en cuanto circule por la instalación una "tensión de defecto" que supera la tensión límite aceptada por el cuerpo humano. Los estudios realizados por un grupo de trabajo, compuesto por médicos y expertos en seguridad, han llevado a la fijación de una tensión de contacto permanente admitida como no

peligrosa para las personas del orden de 50 VAC para los locales secos (este límite puede ser más débil para medios húmedos o sumergidos). Además, de forma general, en las instalaciones domésticas en Francia, el dispositivo de corte diferencial (DDR) asociado a la toma de tierra acepta una elevación de corriente de 500 mA. **(23)**

Mediante la ley de Ohm:  $U = RI$ .

Se obtiene:  $R = 50 \text{ V} / 0,5 \text{ A} = 100 \Omega$ .

Para garantizar la seguridad de las personas y de los bienes, la resistencia de la toma de tierra tiene que ser por lo tanto inferior a  $100 \Omega$ . El cálculo a continuación refleja perfectamente que el valor depende de la corriente nominal del dispositivo de protección diferencial (DDR) de cabecera de la instalación. Por ejemplo, la correlación entre el valor de resistencia a tierra y la corriente diferencial asignada se da en la siguiente tabla: **(24)**

*Tabla 13. Valor máximo de la toma de tierra en función de la corriente asignada del DDR (Esquema TT).*

<b>Corriente diferencial residual máxima asignada del DDR (<math>I_{\Delta n}</math>)</b>		<b>Valor máximo de la resistencia de la toma de tierra de las masas (Ohmios)</b>
Baja sensibilidad	20 A	2,5
	10 A	5
	5 A	10
	3 A	17
Media sensibilidad	1 A	50
	500 mA	100
	300 mA	167
	100 mA	500
Alta sensibilidad	$\leq 30 \text{ mA}$	$> 500$

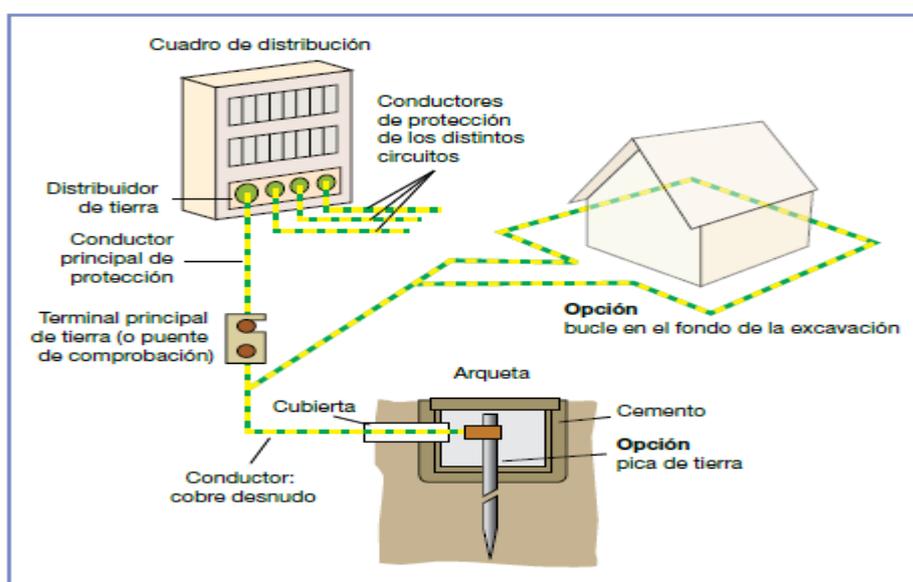
Fuente: Chauvin Arnoux Group. Guía de la medición de tierra. (2014).

## 2.2.5 La toma de tierra

En función de los países, del tipo de construcción o de las exigencias normativas, existen distintos métodos para realizar una toma de tierra. Generalmente, los tipos de construcción son los siguientes:

- Bucle en el fondo de la excavación.
- Fleje o cable enterrado en el hormigón de limpieza.
- Placas.
- Picas o tubos.
- Cintas o cable.
- Entre otros. **(17)**

*Figura 12. Métodos para realizar una toma de tierra.*



Fuente: Chauvin Arnoux Group. Guía de la medición de tierra. (2014).

Sea cual sea el tipo de toma de tierra elegido, su papel radica en estar en estrecho contacto con la tierra para proporcionar una conexión con el terreno y que circulen las corrientes de defecto. La realización de una correcta toma de tierra dependerá entonces de tres elementos esenciales como:

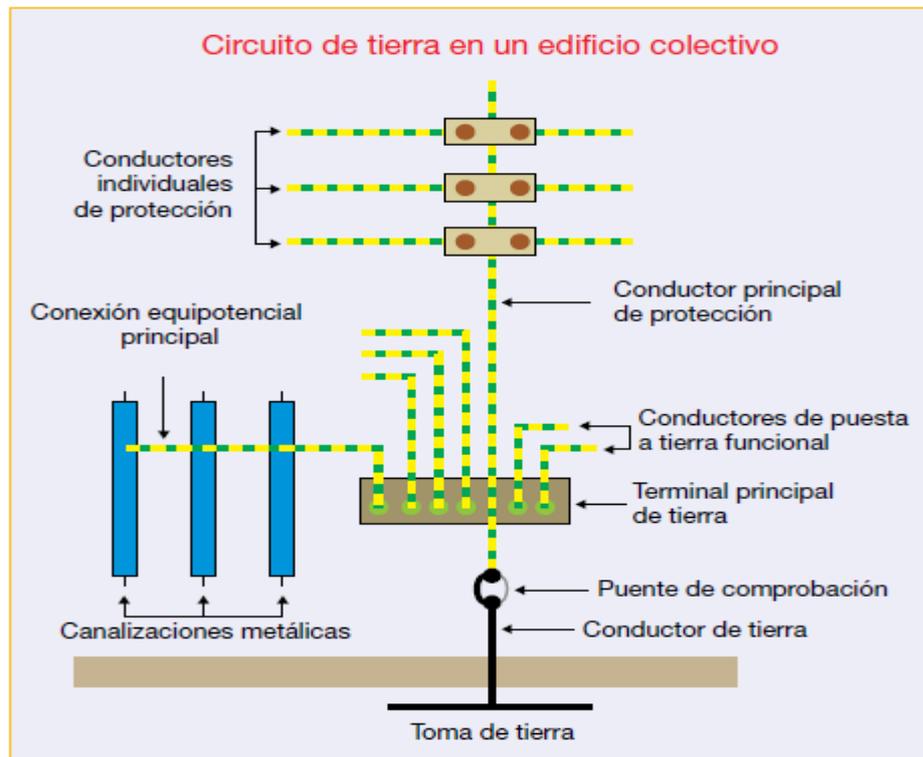
- La naturaleza de la toma de tierra.
- El conductor de tierra.

- La naturaleza y la resistividad del terreno, de ahí la importancia de realizar medidas de resistividad antes de la implantación de nuevas tomas de tierra. **(25)**

A. Los demás elementos

A partir de la toma de tierra se realiza todo el sistema de puesta a tierra del edificio. Este sistema suele constar de los siguientes elementos: el conductor de tierra, el terminal principal de tierra, el puente de comprobación, el conductor de protección, la conexión equipotencial principal, la conexión equipotencial local. **(22)**

Figura 13. Circuito de tierra en un edificio colectivo.



Fuente: Chauvin Arnoux Group. Guía de la medición de tierra. (2014).

## B. La resistividad de los terrenos

La resistividad ( $\rho$ ) de un terreno se expresa en óhm-metro ( $\Omega.m$ ). Esto corresponde a la resistencia teórica en Ohmios de un cilindro de tierra de 1 m<sup>2</sup> de sección y de 1 m de longitud. Su medida permite conocer la capacidad del terreno para conducir la corriente eléctrica. Por lo tanto, cuanto más débil sea la resistividad, más débil será la resistencia de la toma de tierra construida en este lugar.

La resistividad es muy variable según las regiones y la naturaleza de los terrenos. Depende del índice de humedad y de la temperatura (las heladas o la sequía la aumentan). Por ello una resistencia de tierra puede variar según las estaciones y las condiciones de medida. Dado que la temperatura y la humedad son más estables al alejarse de la superficie de la tierra, cuanto más profundo esté el sistema de puesta a tierra menos sensible será el mismo a los cambios medioambientales. Por lo tanto se recomienda realizar la toma de tierra lo más profundo posible. **(19)**

La resistividad de un terreno viene determinada por varios factores que pueden modificarla, son:

- Naturaleza del terreno

Existen factores que inciden directamente sobre el suelo donde se vaya a implementar cualquier sistema de aterrizamiento o protección a tierra, debido a los distintos tipos de terrenos pueden ser muy variados dependiendo de su naturaleza, estos se dividen en tres grandes grupos: terrenos buenos, regulares o malos conductores, es muy importante considerar la naturaleza del terreno para la elaboración de un adecuado sistema de puesta a tierra.

*Tabla 14. Resistividad según la naturaleza del terreno.*

<b>NATURALEZA DEL TERRENO</b>	<b>RESISTIVIDAD EN (<math>\Omega</math>.m)</b>
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactadas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceo	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactadas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600

*Fuente: Puesta a Tierra en Edificios y en Instalaciones Eléctricas. (1997)*

*Tabla 15. Valores medios de la resistividad.*

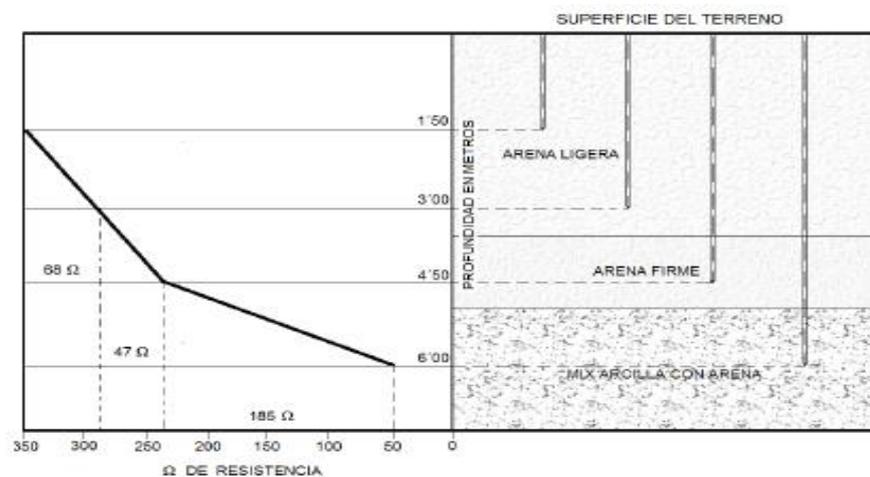
<b>NATURALEZA DEL TERRENO</b>	<b>VALOR MEDIO DE RESISTIVIDAD EN (<math>\Omega</math>.m)</b>
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos.	50
Terraplenes cultivables poco fértiles, terraplenes.	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables.	3000

*Fuente: Puesta a Tierra en Edificios y en Instalaciones Eléctricas. (1997)*

- Estratigrafía

El término hace referencia a que el suelo no presenta uniformidad si no que tiene diferentes capas cuya composición no es igual, por lo cual su resistividad varía con cada una de ellas. Generalmente las capas más profundas tienen menor resistencia media por ser más ricas en humedad y contenido de minerales o se puede decir que están más cerca del nivel freático.

*Figura 14. Variación de la resistividad en función de la estratigrafía del terreno.*



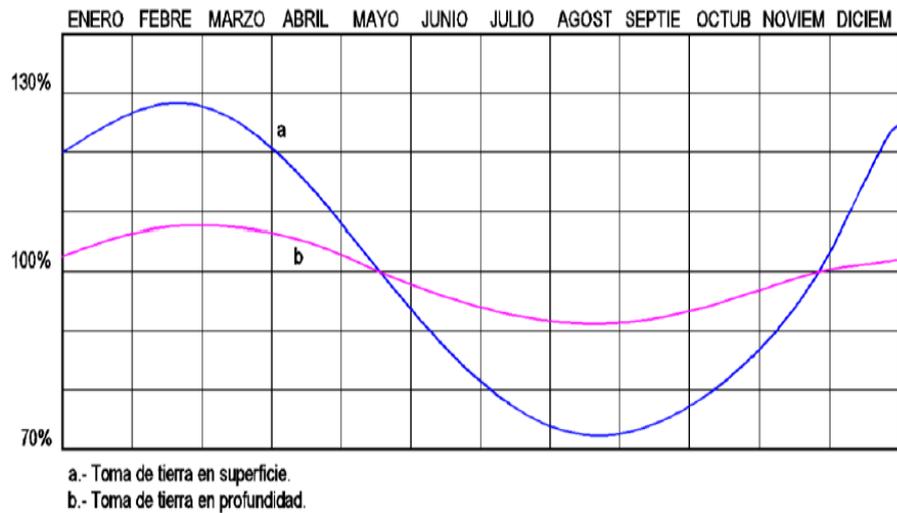
Fuente: Puesta a Tierra en Edificios y en Instalaciones Eléctricas. (1997)

- Variaciones estacionales

En temporadas de invierno el nivel freático se aproxima a la superficie del terreno debido al incremento de las precipitaciones, presentando este una resistividad menor que en la temporada de sequía, en el que el nivel freático se aleja en profundidad de la superficie. Durante todo el año se presentan variaciones estacionales que influyen más sobre el electrodo cuanto más próximo a la superficie del terreno se encuentre este.

**(26)**

Figura 15. Variación de la resistividad en función de las variaciones estacionales.



Fuente: Puesta a Tierra en Edificios y en Instalaciones Eléctricas. (1997)

La resistividad de un terreno viene determinada por los siguientes factores:

- Temperatura

La resistividad de un terreno no cambia significativamente hasta alcanzar el punto de congelamiento, solo entonces la resistividad se incrementa vertiginosamente aparentando que no hay contacto con la tierra, la razón de ello es que no hay descomposición de sales.

Tabla 16. Efecto de la temperatura en la resistividad del suelo.

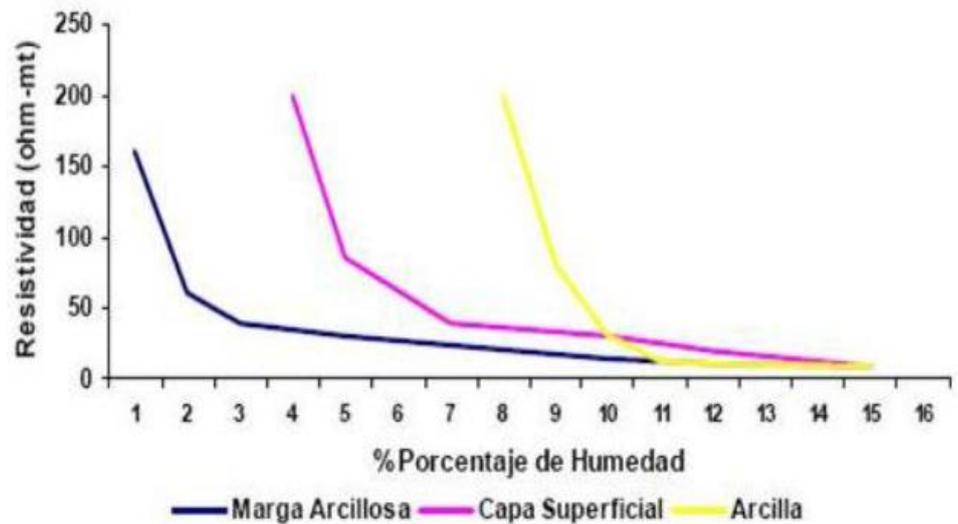
TEMPERATURA °C	RESISTIVIDAD (Ω.m)
20	72
10	99
0 (agua)	138
0 (hielo)	300
-5	790
-10	3300

Fuente: Puesta a Tierra en Edificios y en Instalaciones Eléctricas. (1997)

- Humedad

Debido a que la conducción de corriente es mayormente electrolítica, la humedad facilita la disociación de las sales en iones positivos y negativos; al haber más humedad hay mayor conductividad y por lo tanto menor resistividad.

*Figura 16. Variación de la resistividad en función de la humedad.*



Fuente: Puesta a Tierra en Edificios y en Instalaciones Eléctricas. (1997)

*Tabla 17. Efecto de la humedad en la resistividad del suelo.*

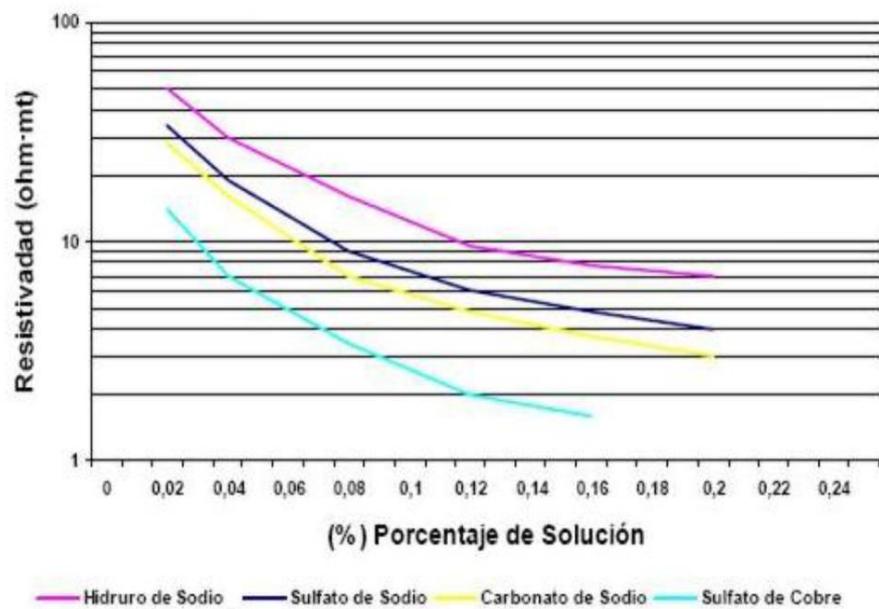
CONTENIDO DE HUMEDAD (% POR PESO)	RESISTIVIDAD EN ( $\Omega \cdot m$ )	
	CAPA VEGETAL	ARCILLA ARENOSA
0	$10^7$	$10^7$
2,5	2500	1500
5	1650	430
10	530	185
15	190	105
20	120	63
30	64	42

Fuente: Puesta a Tierra en Edificios y en Instalaciones Eléctricas. (1997)

- Salinidad

Como es conocido, la cantidad de agua presente en el suelo es un factor determinante en la resistividad del terreno y la resistividad del agua se encuentra determinada por la cantidad de sales minerales disueltas en ella. **(27)**

*Figura 17. Variación de la resistividad en función al contenido de sales.*



Fuente: Puesta a Tierra en Edificios y en Instalaciones Eléctricas. (1997)

### C. Utilidad de la medida de resistividad

La medida de resistividad permitirá:

- Elegir la ubicación y la forma de las tomas de tierra y de las redes de tierra antes de construirlas.
- Prever las características eléctricas de las tomas de tierra y de las redes de tierra.

- Reducir los costes de construcción de las tomas de tierra y de las redes de tierra (ahorro de tiempo para conseguir la resistencia de tierra deseada).

Se utiliza por lo tanto en un terreno en construcción o para los edificios del sector terciario de grandes dimensiones (o subestaciones de distribución de energía) para los que resulta importante elegir con exactitud la mejor ubicación para las tomas de tierra.

#### D. Métodos de medida de resistividad

Se utilizan varios procedimientos para determinar la resistividad de los terrenos. El más usado es el de los “cuatro electrodos” que presenta dos métodos:

- Método de WENNER apropiado en el caso de querer realizar una medida en una única profundidad.
- Método de SCHLUMBERGER apropiado para realizar medidas a distintas profundidades y crear así perfiles geológicos de los suelos.**(21)**

### 2.2.6 Método de Wenner

#### A. Principio de medida

En este principio de medida se insertan cuatro electrodos en línea recta en el suelo y a igual distancia a entre ellos. Entre los dos electrodos exteriores (E y H), se inyecta una corriente de medida I mediante un generador. Entre los dos electrodos centrales (S y ES), se mide el potencial  $\Delta V$  gracias a un voltímetro de tierra clásico que permite la inyección de una corriente y la medida de  $\Delta V$ . El valor de la resistencia R leída en el óhmetro permite calcular la resistividad mediante la siguiente fórmula de cálculo simplificada:

$$\rho_w = 2 \pi a R$$

Con:

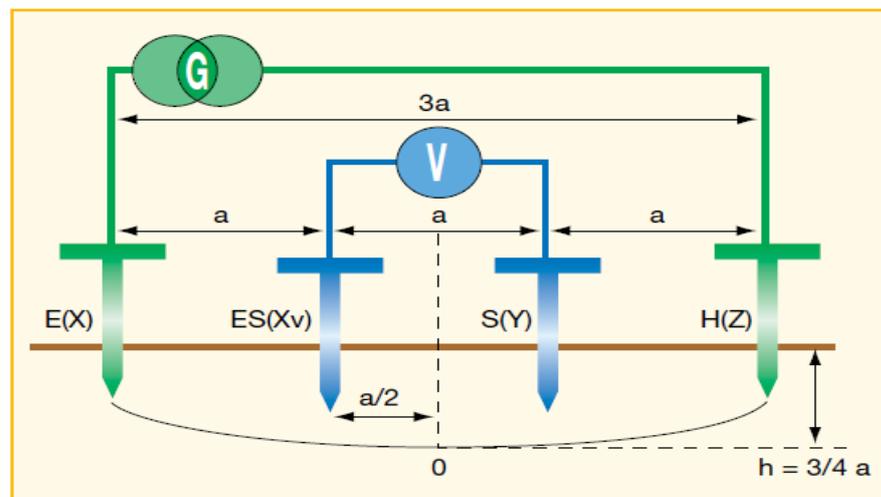
$\rho$ : Resistividad en  $\Omega \cdot m$  en el punto situado debajo del punto O, a una profundidad de  $h = 3a/4$ .

a: Base de medida en m.

R: Valor (en  $\Omega$ ) de la resistencia leída en el óhmetro de tierra.

Recomendamos una medida con  $a = 4$  m como mínimo.

Figura 18. Principio de Medida del Metodo Wenner.



Fuente: Chauvin Arnoux Group. Guía de la medición de tierra. (2014).

Nota: Los términos X, Xv, Y, Z corresponden a la antigua denominación utilizada respectivamente para los electrodos E, Es, S y H. **(8)**

## 2.2.7 Método de Schlumberger

### A. Principio de medida

El método de Schlumberger está basado en el mismo principio de medida. La única diferencia se sitúa a nivel del posicionamiento de los electrodos:

- La distancia entre las 2 picas exteriores es  $2d$
- La distancia entre las 2 picas interiores es  $A$

- y el valor de la resistencia R visualizado en el óhmetro permite calcular la resistividad mediante la siguiente fórmula:

$$\rho_S = (\pi \cdot (d^2 - A^2/4) \cdot R_{S-ES}) / 4$$

Este método permite ahorrar bastante tiempo in situ, especialmente si se quiere realizar varias medidas de resistividad y por consiguiente crear un perfil del terreno. En efecto, sólo deben moverse los 2 electrodos exteriores a diferencia del método de Wenner que necesita desplazar los 4 electrodos a la vez.

Aunque el método de Schlumberger permite ahorrar tiempo, el método de Wenner es el más conocido y utilizado. Su fórmula matemática es más sencilla. Sin embargo, numerosos instrumentos de medida Chauvin Arnoux incorporan 2 fórmulas de cálculo que permiten obtener instantáneamente valores de resistividad con uno de los dos métodos. **(12)**

## 2.2.8 La medida de resistencia de una toma de tierra existente

### A. Los distintos métodos

Las medidas de resistividad vistas anteriormente sólo pueden aplicarse en el caso de construir una nueva toma de tierra. Permiten prever el valor de resistencia de tierra y ajustar la construcción según el valor de tierra deseado. En el caso de tomas de tierra existente, la operación consiste en comprobar que las medidas acatan correctamente las normas de seguridad en términos de construcción y valor de resistencia. No obstante, numerosas medidas pueden aplicarse según las características de la instalación tales como la posibilidad de dejar sin tensión la instalación, desconectar la toma de tierra, tener una única toma de tierra a medir o conectada a otras, la

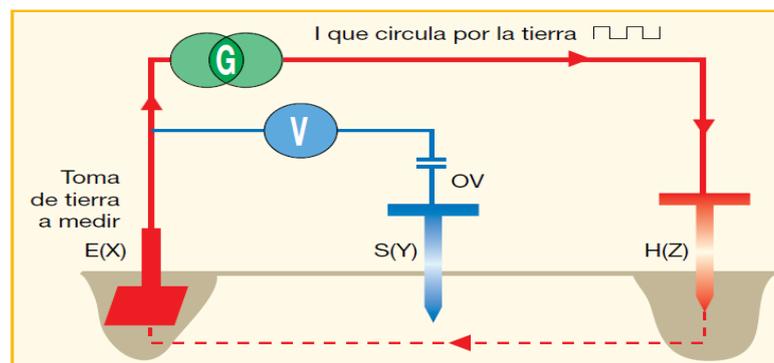
precisión de la medida deseada, el lugar de la instalación (medio urbano o no), entre otros. **(7)**

B. Las medidas de tierra en instalaciones que disponen de una única toma de tierra.

Es importante recordar que la medida de tierra de referencia es la medida de tierra con 2 picas. Se hace referencia a esta medida en todas las normas de control de una instalación eléctrica que permite realizar una medida precisa y segura de la resistencia de tierra. El principio de medida consiste en hacer circular con un generador apropiado G, una corriente alterna (i) constante a través de la toma auxiliar H llamada “toma de inyección de corriente”. Realizándose el retorno por la toma de tierra. Se mide la tensión V entre las tomas E y el punto del terreno donde el potencial es nulo mediante otra toma auxiliar S llamada “toma de potencial 0 V”. El cociente entre la tensión así medida y la corriente constante inyectada (i) da la resistencia buscada. **(16)**

$$R_E = U_{ES} / I_{E>H}$$

Figura 19. Medida de resistencia de una toma de tierra existente.

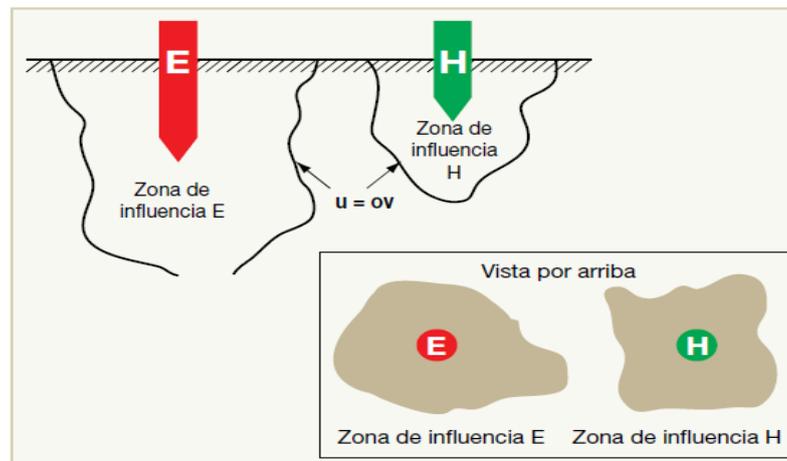


Fuente: Chauvin Arnoux Group. Guía de la medición de tierra. (2014).

### C. Observación Importante

El flujo de una corriente de defecto se efectúa primero a través de las resistencias de contacto de la toma de tierra. Cuanto más nos alejamos de la toma de tierra, más tiende al infinito la cantidad de resistencias de contacto en paralelo y constituye una resistencia equivalente casi nula. A partir de este límite, sea cual sea la corriente de defecto, el potencial es nulo. Existe por lo tanto en torno a cada toma de tierra, atravesada por una corriente, una zona de influencia de la cual se ignora la forma y la amplitud. Durante las medidas, se debe procurar clavar la toma auxiliar S llamada “toma de potencial 0 V” al exterior de las zonas de influencia de las tomas auxiliares atravesadas por la corriente (i). **(15)**

*Figura 20. Zonas de influencia de las tomas auxiliares atravesadas por la corriente.*



Fuente: Chauvin Arnoux Group. Guía de la medición de tierra. (2014).

La diferencia de comportamiento de difusión de corriente eléctrica según la resistividad del terreno, difícilmente se puede estar seguro de haber evitado las zonas de influencia. Por lo tanto, la mejor solución para validar la medida consiste en volver a realizar una medida desplazando la pica S y asegurarse de que es del mismo orden de magnitud que la anterior medida. **(18)**

## 2.3 Definición de términos básicos

- **Capa Geológica:**  
Es la división más pequeña de una formación geológica, marcada por planos de división bien delimitados que separan los estratos de encima y de abajo, las capas se distinguen de varias maneras: composición de la roca o tipos de minerales y tamaño de partículas.
- **Conductividad Eléctrica:**  
Capacidad de un cuerpo de permitir el paso libre de la corriente eléctrica, siendo ésta la inversa de la resistividad.
- **Conductor Eléctrico:**  
Material que al ponerse en contacto con un cuerpo cargado eléctricamente transmite la electricidad a todos los puntos de su superficie, contiene electrones libres en su interior por lo que facilitan el desplazamiento de las cargas.
- **Corriente De Falla:**  
Comportamiento anormal de la corriente eléctrica cuando tiende a aumentar su valor pico.
- **Descarga Atmosférica:**  
Neutralización violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o entre nubes.
- **Diferencia De Potencial:**  
Trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas.

- **Calibración:**  
Cálculos de simulación que tienen por objeto establecer la relación que hay entre los valores indicados por un aparato de medida y los valores conocidos correspondientes a un mensurando.
- **Resistividad Aparente:**  
Es la resistividad obtenida bajo medida directa solo representa un punto del suelo en el cual fue realizado el arreglo, o esquema geométrico.
- **Resistividad Del Suelo:**  
Es la oposición del suelo a la corriente eléctrica a cierta profundidad, su magnitud se expresa en ohmios donde el suelo es una mezcla de rocas, agua y materiales orgánicos por lo que la resistividad depende de la composición del suelo.
- **Desviación Estándar:**  
Es la medida en que se encuentran dispersos los datos de las medidas tabuladas en el muestreo.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### 3.1 Método y alcances de la investigación

##### 3.1.1 Método de la investigación

###### A) Método general

El método de investigación que se empleará como base estructural es el método científico, que nos orientará como debemos realizar una investigación del tipo: **INDUCTIVO – DEDUCTIVO**, además de ser **ANALÍTICO – SINTÉTICO** por la forma de analizar los hechos o fenómenos y relacionarlos con las bases teóricas del marco conceptual, asumiendo categorías cognitivas de síntesis.

###### B) Método específico

Se utilizará el: **MÉTODO CUANTITATIVO**, en razón que los datos obtenidos son datos descriptivos y susceptibles de interpretación, por ser datos categoriales y que se someterán a un análisis estadístico, es decir determinar la influencia de la resistividad del terreno en la eficiencia del sistema de puesta a tierra. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018. Asimismo mediante la observación se intentará captar aquellos aspectos que son más relevantes al fenómeno o hecho a investigar, recopilando los datos que se estimen pertinentes, la investigación tiene carácter cuantitativo debido a que la realidad

está en relación con las variables de estudio, correspondiendo a las muestras en los diferentes tipos de terrenos sobre la problemática existente en la unidad de análisis.

### 3.1.2 Alcances de la investigación

El alcance de la investigación está fundamentado en que los resultados y conclusiones que se arribarán en este proyecto de investigación van a constituir una base para futuras investigaciones, este estudio servirá asimismo para verificar la sensibilidad del “Método de Wenner” para determinar los cambios en la resistividad del terreno. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018.

## 3.2 Diseño de la Investigación

El diseño que se utilizará, en el trabajo de investigación es: **CORRELACIONAL – OBSERVACIONAL – DE CORTE TRANSVERSAL**, (Correlacional: Porque nos estamos planteando hipótesis que tenemos que demostrar, -Observacional: Porque se va a describir la influencia que tiene la resistividad del terreno en la eficiencia del sistema de puesta a tierra. Local – Sunarp Satipo – Junín, y –De corte transversal: Porque la recolección de datos se realizará en un momento determinado); de acuerdo a las dimensiones: Sales solubles, composición del terreno, estratigrafía, estado higrométrico, temperatura, y compactación para la variable: **RESISTIVIDAD DEL TERRENO**; asimismo las dimensiones: Tensiones significativas, medidas suplementarias, tipos de sistemas, neutro aislado (SIT), neutro a tierra (STT), y protección para la variable: **SISTEMA DE PUESTA A TIERRA**; con una población de 65 muestras de los diferentes tipos de terrenos de la Región Junín.

## 3.3 Población y muestra

### 3.3.1 Población

La población estará constituida por 65 muestras de los diferentes tipos de terrenos de la Región Junín.

### 3.3.2 Muestra

El tamaño de la muestra se determinará, considerando el muestreo aleatorio simple estratificado, para obtener porcentajes y frecuencias estadísticas.

A. La población total materia de investigación es de 65 muestras en los diferentes tipos de terrenos.

B. La muestra se ha obtenido aplicando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z_0^2 p \cdot q \cdot N}{e^2(N-1) + Z_0 p \cdot q}$$

Dónde:

n = Muestra

Z<sub>0</sub> = 1.96 (límite de confianza)

p = Probabilidad de acierto (50%)

q = Probabilidad de no acierto (50%)

N = Población total (65)

e<sup>2</sup> = Margen de error (5%)

1 - α = Intervalo de confianza (95)

Reemplazando:

$$n = \frac{(1.96)^2(0.5)(0.5)(65)}{(0.05)^2(64) + (1.96)^2(0.5)(0.5)}$$

$$n = \frac{62.42}{0.16 + 0.96} = 55,73$$

n = 56 (Muestras)

Se empleará la técnica del muestreo intencional o criterial, porque empleando esta técnica se buscará que la población motivo de investigación sea representativa, asimismo en base a una medición particular del investigador con una muestra de 56 muestras.

### 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En relación a la naturaleza del trabajo de investigación se utilizarán las siguientes técnicas e instrumentos:

*Tabla 18. Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

<b>TÉCNICA</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>DATOS QUE SE OBSERVARÁN</b>
Observación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fichas de observación</li> </ul>	Nos permitirá determinar la influencia de la resistividad del terreno en la eficiencia del sistema de puesta a tierra. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018
Medición	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fichas de registro de datos</li> <li>▪ Medición con el telurómetro en los diferentes tipos de terrenos.</li> </ul>	Con la aplicación de estos instrumentos nos permitirán: evaluar la exactitud del “Método de Wenner” mediante un modelo implementado con el “Método del Elemento Finito”. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018
Evaluación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ficha de sistematización de los datos.</li> </ul>	Al aplicar las pruebas evaluativas nos permitirán: verificar la sensibilidad del “Método de Wenner” para determinar los cambios en la resistividad del terreno. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018

*Fuente: Elaboración Propia.*

### 3.4.1 Técnicas de Análisis de Datos

Las técnicas de análisis de datos que nos permitirán los procedimientos de la investigación, se realizarán considerando las técnicas de conteo y tabulación de las muestras tomadas, empleando la media, moda y mediana, como parte de la estadística descriptiva en los dos secciones de experimentación.

Se utilizarán las técnicas de la estadística de dispersión para los resultados de la varianza, desviación estándar, coeficiente de variación y las medidas de asimetría (Coeficiente de Pearson). Igualmente se utilizará la estadística inferencial (Hipótesis nula "H0" y la Hipótesis Alternativa "H1"), con la regla de decisión y su respectivo intervalo de confianza del 95% ( $\alpha = 0,05$  con un error de 5%) y su interpretación en base a los datos obtenidos. Una vez obtenidos los datos, se procederá a analizar cada uno de ellos, atendiendo a los objetivos y variables de la investigación, de manera tal que se contrastará la hipótesis con variables y objetivos planteados, demostrando así la validez o invalidez de estas. Al final se formularán las conclusiones y sugerencias para mejorar la problemática investigada.

Tabla 19. Elementos estadísticos a emplearse en la investigación.

Nº	ESTADÍGRAFOS	FÓRMULAS ESTADÍSTICAS	SÍMBOLOS
01	Media Aritmética de los datos agrupados	$\bar{X} = \frac{\sum f \cdot x}{n}$	$\bar{X}$ = Media Aritmética X = Valor Central o Punto Medio de cada clase f = Frecuencia de cada clase $\Sigma f \cdot x$ = Sumatoria de los productos de la frecuencia en cada clase multiplicada por el punto medio de ésta. n = Número total de frecuencias.
02	Desviación Estándar Muestral para datos agrupados	$s = \sqrt{\frac{\sum f \cdot x^2 - \left(\frac{\sum f \cdot x}{n}\right)^2}{n-1}}$	S = Desviación estándar muestral x = Punto medio de una clase f = Frecuencias de clase. n = Número total de observaciones de la muestra

Fuente: Propia.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### 4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información

En este capítulo se presenta la influencia de la resistividad del terreno en la eficiencia del sistema de puesta a tierra en el local Sunarp Satipo, aplicando la efectividad de la sensibilidad en el Método Wenner en los diferentes tipos de terrenos. Del mismo modo se evalúa la exactitud y se verifica la sensibilidad del Método de Wenner para así establecer el papel que juega el sistema de puesta a tierra de una instalación durante el drenado de una corriente de falla. Para lo cual las mediciones de campo se realizaron con el instrumento de medida: Medidor digital de tierras EM4055, con el cual se determinará la resistencia total de puesta a tierra y la resistividad del terreno y sus características técnicas más relevantes del equipo son las siguientes:

- Resistividad del suelo (Método de Wenner)
- Alta inmunidad a las interferencias
- Medición de las tensiones espurias
- Resolución de 0,01  $\Omega$
- Dos frecuencias de medición: 1470 Hz y 270 Hz
- Rango de medición:

- Resistencia: de 0 - 20 k $\Omega$
- Resistividad: de 0 – 50 k $\Omega$ m
- Tensión: 0 – 60 V AC

Se realizó 56 mediciones en cinco tipos de terrenos que son arcilloso, cascajo, cultivable, poco cultivable y gravoso, donde se realizó las mediciones antes de la instalación de la puesta tierra denominándolo como resistividad aparente y posteriormente ya instalado la puesta a tierra de volvió a medir y lo denominamos resistencia medida y los resultados obtenidos son:

*Tabla 20. Resultados de las mediciones de resistividad*

N° Medición	Tipo de terreno	Resistividad aparente	Longitud de electrodo	Diámetro de Electrodo	Resistencia Medida
		$\rho.a$	"L1"	"D"	"RM"
		[ $\Omega.m$ ]	[m]	[m]	[ $\Omega$ ]
1	Arcilloso	30.44	2.40	0.016	7.35
2	Arcilloso	59.73	2.40	0.016	9.69
3	Arcilloso	77.94	2.40	0.016	10.92
4	Arcilloso	130.04	2.40	0.016	11.15
5	Arcilloso	145.34	2.40	0.016	13.27
6	Arcilloso	150.02	2.40	0.016	13.54
7	Arcilloso	220.37	2.40	0.016	14.01
8	Arcilloso	220.66	2.40	0.016	15.29
9	Arcilloso	221.70	2.40	0.016	15.80
10	Arcilloso	225.89	2.40	0.016	16.25
11	Arcilloso	267.12	2.40	0.016	17.02
12	Cascajo	337.40	2.40	0.016	9.10
13	Cascajo	385.94	2.40	0.016	10.14
14	Cascajo	438.69	2.40	0.016	10.84
15	Cascajo	464.70	2.40	0.016	12.72
16	Cascajo	490.78	2.40	0.016	14.30
17	Cascajo	594.12	2.40	0.016	14.78
18	Cascajo	623.29	2.40	0.016	15.80
19	Cascajo	679.21	2.40	0.016	17.34
20	Cascajo	712.34	2.40	0.016	18.56
21	Cascajo	756.92	2.40	0.016	20.12
22	Cascajo	835.17	2.40	0.016	21.30
23	Cultivable	126.84	2.40	0.016	7.15
24	Cultivable	153.61	2.40	0.016	7.94
25	Cultivable	178.23	2.40	0.016	8.32
26	Cultivable	189.14	2.40	0.016	8.33
27	Cultivable	200.15	2.40	0.016	8.53

28	Cultivable	254.82	2.40	0.016	9.10
29	Cultivable	364.80	2.40	0.016	9.32
30	Cultivable	376.23	2.40	0.016	9.50
31	Cultivable	381.25	2.40	0.016	9.89
32	Cultivable	406.84	2.40	0.016	10.01
33	Cultivable	415.02	2.40	0.016	10.58
34	Gravoso	54.84	2.40	0.016	8.75
35	Gravoso	66.89	2.40	0.016	8.87
36	Gravoso	70.83	2.40	0.016	9.26
37	Gravoso	89.16	2.40	0.016	9.65
38	Gravoso	119.14	2.40	0.016	10.44
39	Gravoso	125.58	2.40	0.016	11.97
40	Gravoso	152.14	2.40	0.016	12.54
41	Gravoso	233.12	2.40	0.016	13.08
42	Gravoso	262.44	2.40	0.016	13.34
43	Gravoso	368.33	2.40	0.016	13.89
44	Gravoso	402.23	2.40	0.016	14.21
45	Gravoso	489.76	2.40	0.016	14.79
46	Poco cultivables	305.89	2.40	0.016	9.62
47	Poco cultivables	355.82	2.40	0.016	10.24
48	Poco cultivables	374.44	2.40	0.016	11.78
49	Poco cultivables	380.01	2.40	0.016	11.85
50	Poco cultivables	412.37	2.40	0.016	12.14
51	Poco cultivables	425.38	2.40	0.016	12.35
52	Poco cultivables	434.85	2.40	0.016	12.68
53	Poco cultivables	557.23	2.40	0.016	13.96
54	Poco cultivables	572.91	2.40	0.016	14.02
55	Poco cultivables	635.28	2.40	0.016	14.78
56	Poco cultivables	656.40	2.40	0.016	15.43

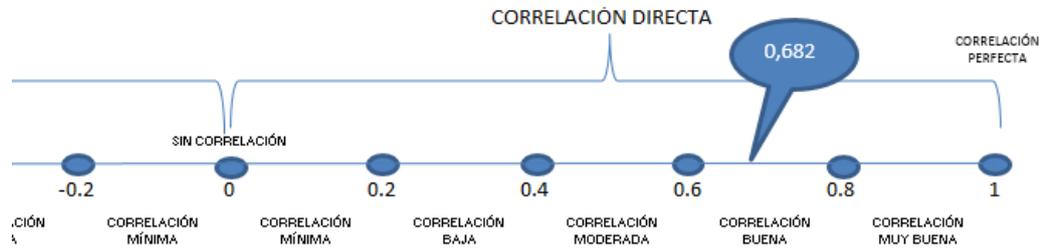
Fuente: Elaboración propia.

*Tabla 21. Correlación entre la Resistividad y Resistencia*

		Correlaciones	
		RESISITIVIDAD	RESISTENCIA
RESISITIVIDAD	Correlación de Pearson	1	,682**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	56	56
RESISTENCIA	Correlación de Pearson	,682**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	56	56

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).  
Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Escala de la Correlación de Spearman



Fuente: Elaboración propia.

En estos resultados, la correlación de Spearman entre la resistividad y la resistencia es 0.682, lo que indica que existe una relación buena entre las variables. La relación entre estas variables es positiva, lo que indica que a medida que el tipo de terreno cambia (arcilloso, gravoso, cultivable, cascajo y poco cultivables) la resistencia aumenta (7.35  $\Omega$  ; 8,75  $\Omega$  ; 7.15  $\Omega$  ; 9.10  $\Omega$  y 9.62  $\Omega$ ) respectivamente.

4.1.1 Resultado que explica el objetivo específico 1

Para evaluar la exactitud del Método de Wenner se realizó una proyección de la resistividad del terreno del Local Sunarp Satipo, donde los datos obtenidos están en la tabla 14 donde se visualiza que la exactitud del método Wenner es confiable y exacto.

Figura 22. Resistencia en el Terreno Tipo Arcilloso



Fuente: Elaboración propia.

En esta figura nos muestra que en el terreno tipo Arcilloso se obtiene una resistencia mínima de 7.35  $\Omega$  con una máxima resistencia de 17.02  $\Omega$ .

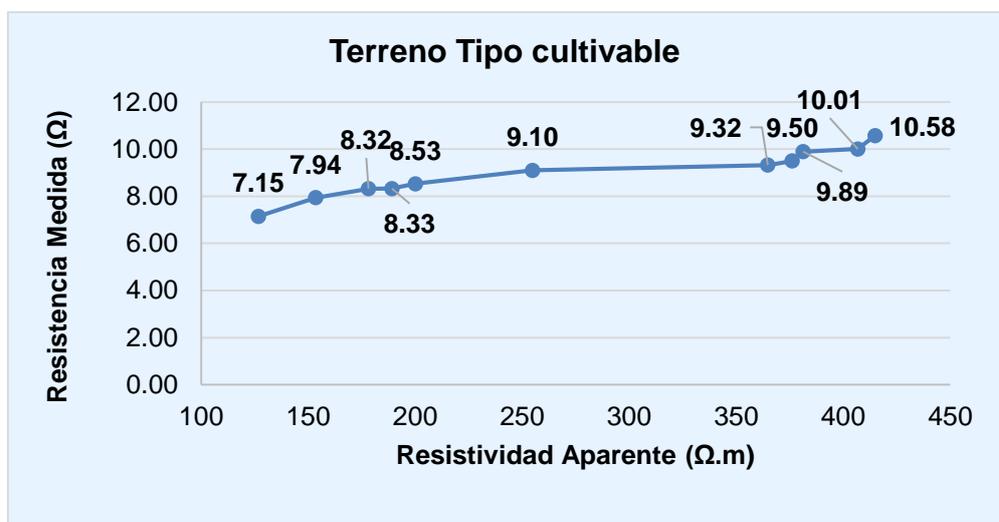
Figura 23. Resistencia en el Terreno Tipo Cascajo



Fuente: Elaboración propia.

En esta figura nos muestra que en el terreno tipo Cascajo se obtiene una resistencia mínima de 9.10  $\Omega$  con una máxima resistencia de 21.30  $\Omega$ .

Figura 24. Resistencia del Terreno Tipo Cultivable



Fuente: Elaboración propia.

En esta figura nos muestra que en el terreno tipo Cultivable se obtiene una resistencia mínima de 7.15  $\Omega$  con una máxima resistencia de 10.58  $\Omega$ .

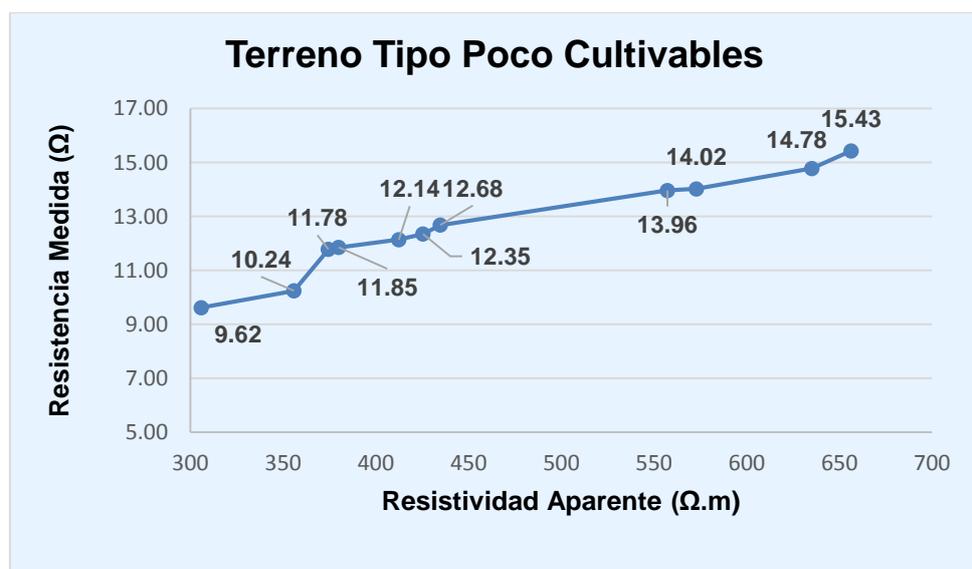
Figura 25. Resistencia del Terreno Tipo Gravoso



Fuente: Elaboración propia.

En esta figura nos muestra que en el terreno tipo Gravoso se obtiene una resistencia mínima de 8.75  $\Omega$  con una máxima resistencia de 14.79  $\Omega$ .

Figura 26. Resistencia del Terreno Tipo Poco Cultivable



Fuente: Elaboración propia.

En esta figura nos muestra que en el terreno tipo Gravoso se obtiene una resistencia mínima de 9.62  $\Omega$  con una máxima resistencia de 15.43  $\Omega$ .

#### 4.1.2 Resultado para lograr explicar el objetivo específico 2

Para verificar el tipo de terreno más apropiado para la realización de un sistema de puesta a tierra del Local Sunarp Satipo, se realiza una tabla comparativa con los datos de la Tabla 14, donde seleccionamos las menores Resistencias Medidas obtenidas de los cinco tipos de terreno donde nos muestra que el mejor tipo de terreno para realizar una puesta a tierra es el tipo cultivable porque presenta la menor resistividad en comparación de los otros tipos de terrenos, con un valor de 7.15 ohmios.

Tabla 22. Menores Resistencias de cada uno de los Tipos de Terrenos

N° Medición	Tipo de terreno	Resistividad aparente	Longitud de electrodo	Diámetro de Electrodo	Resistencia Medida
		$\rho_a$	"L1"	"D"	"RM"
		[ $\Omega.m$ ]	[m]	[m]	[ $\Omega$ ]
16	Cultivable	126.84	2.40	0.016	7.15
1	Arcilloso	30.44	2.40	0.016	7.35
22	Gravoso	54.84	2.40	0.016	8.75
13	Cascajo	337.40	2.40	0.016	9.10
29	Poco cultivables	305.89	2.40	0.016	9.62

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.3 Resultado para lograr explicar el objetivo específico 3

Según el Código Nacional de Electricidad (Suministro 2011), Sección 3: Métodos de Puesta a Tierra para instalaciones de suministro Eléctrico y Comunicaciones – 036.D. Sistemas con un solo una puesta a tierra (puesta a tierra en un punto o delta). Menciona que la puesta a tierra con un solo electrodo deberá tener una resistencia a tierra que no exceda 25  $\Omega$ . Si la resistencia con un solo electrodo excede 25  $\Omega$ , deberán utilizarse otros métodos de puesta a tierra que permitan cumplir con este requerimiento. En los resultados obtenidos vemos que se encuentran por

debajo de los  $25 \Omega$ . Las cuales estas puestas a tierra van a proteger equipos, instrumentos y personas para así mejorar la calidad de vida ante una corriente de falla.

#### 4.2 Discusión de resultados

La investigación busco determinar como objetivo general la influencia de la resistividad del terreno en la eficiencia del Sistema de puesta a tierra del Local Sunarp Satipo. Los objetivos específicos son evaluar la exactitud del Método de Wenner mediante una proyección de la resistividad, verificar el tipo de terreno más apropiado para la realización de una puesta a tierra y establecer el papel que juega el sistema de puesta a tierra en la seguridad de una instalación durante el drenado de corrientes de falla. La metodología mostró ser eficiente para el desarrollo de la investigación.

Tomando en cuenta el resultado de las mediciones realizadas en los diferentes tipos de terreno mostraron que el terreno cultivable es eficiente para un sistema de puesta a tierra.

## CONCLUSIONES

- De acuerdo a la tabla N° 16 la resistividad del terreno influye significativamente a la resistencia en 0,682 (correlación de Spearman); para el terreno cultivable es  $126.84 \Omega\text{-}m$  y su resistencia es  $7.15 \Omega$ ; para el terreno arcilloso es  $30.44 \Omega\text{-}m$  y su resistencia  $7.35 \Omega$ ; para el terreno gravoso  $54.84 \Omega\text{-}m$ , y su resistencia  $8.75 \Omega$ ; para el terreno cascajo  $337.40 \Omega\text{-}m$  y su resistencia  $9.10 \Omega$  y para terrenos poco cultivables  $305.89 \Omega\text{-}m$  con una resistencia  $9.62 \Omega$ . Es recomendable la aplicación en terrenos cultivables porque la resistencia es  $7.15 \Omega$ .
- Este método fue desarrollado por Frank Wenner, siendo el más efectivo y utilizado en la actualidad para la medición de la resistividad del terreno.
- El método consiste en establecer la circulación de una corriente conocida desde un generador de corriente constante entre dos electrodos hincados en el suelo y medir la caída de tensión presente, debida a esta corriente, entre otros dos electrodos. Los cuatro electrodos son equidistantes con separación  $a$  y en línea recta.
- El tipo de terreno más apropiado es el terreno cultivable que tiene una resistencia de  $7.15 \Omega$  y el tipo arcilloso con una resistencia de  $7.35 \Omega$ .
- El papel que juega el sistema de puesta a tierra en primer lugar es la seguridad de una instalación, también sirve para evitar daños en equipos e instalaciones eléctricas, proporciona una ruta segura para la disipación de fallo de corrientes, rayos, descargas estáticas, interferencias electromagnéticas y de radiofrecuencia, evita la contaminación de señales

electrónicas con frecuencias diferentes, brinda protección electrostática para neutralizar las cargas electrostáticas producidas en los materiales dieléctricos.

## RECOMENDACIONES

- Para realizar un sistema de puesta a tierra primero se debe realizar la toma de medidas de resistividad del terreno en distintos puntos para evaluar y buscar menor resistividad, así posteriormente realizar la puesta a tierra.
- Realizar una conexión correcta de los aparatos eléctricos a la tierra, para tener el mejor terreno para que se realice la descarga a tierra, de modo que la protección sea sensible y el potencial de contacto caiga por debajo de los límites críticos que soporta el corazón humano.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1). **Pomatoca Tiuquinga, Mauro Danilo.** *Sistema Puesta a Tierra para el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Escuela de Ingeniería Electrónica.* Riobamba - Ecuador : s.n., 2010. p. 125, Tesis.
- (2). **Sanz A., Jorge Humberto, Duque C., Edison and Gómez Estrada, Santiago.** *La Resistividad del Suelo en Función de la Frecuencia.* Pereira, Scientia Et Technica : s.n., abril 2010. Vol. XVI. 0122 - 1701.
- (3). **Manani Huayane, Carlos Alberto.** *Sistema de Puesta a Tierra y Protección Equipotencial para Sistemas de Cómputo.* Junin, Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo : s.n., 2013. p. 144, Tesis.
- (4). **Ferrer Contreras, David Camilo and Novoa Tole, Luis Miguel.** *Análisis experimental de métodos de medición de resistividad del terreno para evaluar su profundidad de exploración.* Universidad de la Salle. Bogotá : s.n., 2017.
- (5). **Chauvin Arnoux Group.** *Guía de la medición de tierra.* Barcelona - España : Ibérica S.A., 2014.
- (6). **Reyes González , Carla Marisol.** *Análisis de técnicas para medición de la resistividad de terreno mediante modelado.* Instituto Politécnico Nacional. México D. F. : s.n., 2016. Tesis.
- (7). **Elorza H., Medina Sandoval J. C.** *Estadística para las ciencias sociales y del comportamiento.* México : Oxford University, 2014. p. 172.
- (8). **Silvester P, P and Ferrari R, L.** *Finite elements for electrical engineers.* s.l. : Cambridge University Press, 2016. p. 162.
- (9). **Ammar, A. L. and Kruse, S. E.** *Resistivity soundings and VLF profiles for siting groundwater wells in a fractured basement aquifer in the Arabian Shield.* Saudi Arabia : ELSEVIER, 2016. p. 49.
- (10). **Rodriguez Barrera, Mario Alberto.** *Regresión Lineal.* 2012. p. 261.
- (11). *Introducción a las medidas eléctricas.* s.l. : Universidad Distrital Fransisco Jose De, 2011. 9588723035.
- (12). **Auge, M.** *Métodos geo eléctricos para la prospección de agua subterránea.* Buenos Aires : s.n., 2012. p. 69.

- (13). **Ingeominas**. *Microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá*. Bogotá - Colombia : s.n., 2017. p. 183.
- (14). **IEE**. *Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System*. 2012. p. 77.
- (15). **Sánchez, L.** *Tipos de coordenadas manejadas en Colombia*. . División de la Subdirección de Geografía y Cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá D. C. : s.n., 2004. p. 94.
- (16) **Barker, R.D.** *Depth of investigation of collinear symmetrical*. . s.l. : SEG., 2015. p. 183.
- (17). **Geoscan, M.** *IPI2 -Win Guía de usuario*. Universidad Estatal de Moscú Facultad de Geología Departamento de Geofísica. 2000. p. 261.
- (18). **Anderson, D.R., Sweeney, D.J., & Williams, T.A.** *Estadística para administración y economía*. México : International Thomson Editores, 2014. p. 128.
- (19). **Duran, J.A.** *Aplicación de las ecuaciones de maxwell en el dominio de la frecuencia al análisis electromagnético de un medio rocoso*. Pág. 139. Universidad nacional de Colombia. Bogotá D.C : s.n., 2012.
- (20). **Arias, O.E.** *Exploración Geotécnica-relaciones eléctricas*. Medellín : s.n., 2011. p. 164.
- (21). **Galvis García, E. and Cárdenas Valencia, J.D.** *Manual para la interpretación del perfil de resistividad*. 2017. p. 284.
- (22). **Dey, A. and Morrison, H.F.** *Resistivity modelling for arbitrary shaped two dimensional structures*. . s.l. : Geophysical Prospecting, 2016. p. 236.
- (23). **EPM**. *Normas Técnicas medida de resistividad eléctrica del suelo*. 2008. p. 136.
- (24). **Astier, J.L.** *Geofísica Aplicada a la Hidrogeología*. Madrid - España : Editorial Paraninfo, 2009. p. 192.
- (25). **Rodriguez**. 2016.
- (26). **Martínez Requena, Juan José and Toledano Gasca, José Carlos.** *Puesta a Tierra en Edificios y en Instalaciones Eléctricas*. [ed.] Paraninfo. Cuarta. 1997. p. 276. 8428323771, 9788428323772.
- (27). **Gonzáles Longatt, Francisco M.** *Sistemas de Puesta a Tierra: Una introducción a la Seguridad*. Puerto Ordaz - Venezuela : UNEXPO, 2005.

# **ANEXOS**

## ANEXO N°1

### Mediciones en los diferentes tipos de terreno



Fotografía 1. Medición en terreno tipo cascajo.



Fotografía 2. Medición en terreno tipo arcilloso.



Fotografía 3. Medición en terreno tipo cultivable



Fotografía 2. Medición en terreno tipo cascajo.



Fotografía 2. Medición en terreno tipo gravoso.



Fotografía 2. Medición en terreno tipo poco cultivable.

## ANEXO N° 2

### MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL PLAN DE TESIS

**TÍTULO: “INFLUENCIA DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO EN EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA LOCAL – SUNARP SATIPO – JUNÍN 2018”**

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES	METODOLOGÍA
<p><b>PROBLEMA GENERAL.</b> ¿Cómo influye la resistividad del terreno en la eficiencia del sistema de puesta a tierra. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS.</b></p> <p><b>A.</b> ¿Qué exactitud tiene el “Método de Wenner” mediante un modelo implementado con el “Método del Elemento Finito”. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018?</p> <p><b>B.</b> ¿Qué sensibilidad tiene el “Método de Wenner” para determinar los cambios en la resistividad del terreno y profundidad de la segunda capa. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018?</p> <p><b>C.</b> ¿Qué papel juega el sistema de puesta a tierra en la seguridad de una instalación durante el drenado de corrientes de falla. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL.</b> Determinar la influencia de la resistividad del terreno en la eficiencia del sistema de puesta a tierra. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.</b></p> <p><b>A.</b> Evaluar la exactitud del “Método de Wenner” mediante una proyección de la resistividad del terreno Local – Sunarp Satipo – Junín 2018</p> <p><b>B.</b> Verificar el tipo de terreno más apropiado para la realización de una puesta a tierra. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018.</p> <p><b>C.</b> Establecer el papel que juega el sistema de puesta a tierra en la seguridad de una instalación durante el drenado de corrientes de falla. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL.</b> La resistividad del terreno a través de: composición del terreno, salinidad, y humedad, entre otros influye significativamente en la eficiencia del sistema de puesta a tierra. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.</b></p> <p><b>A.</b> La exactitud del “Método de Wenner” mediante un modelo implementado con el “Método del Elemento Finito” es del 75% aproximadamente. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018.</p> <p><b>B.</b> La sensibilidad se da a través de: la compactación, estratigrafía del terreno y t° del terreno, para la determinación de los cambios en la resistividad del terreno y profundidad de la segunda capa. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018.</p> <p><b>C.</b> La baja impedancia, interruptores diferenciales y sistema devanador óptimo, son elementos que proveen un ambiente más seguro para los usuarios, estructuras y equipos, reduciendo el riesgo que pueden ocasionar las fallas en una instalación eléctrica. Local – Sunarp Satipo – Junín 2018</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE (x):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistividad del Terreno.</li> </ul> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE (y):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de Puesta a Tierra.</li> </ul> <p><b>DIMENSIONES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistividad del Terreno: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sales solubles</li> <li>▪ Composición del terreno</li> <li>▪ Estratigrafía</li> <li>▪ Estado higrométrico</li> <li>▪ Temperatura</li> <li>▪ Compactación</li> </ul> </li> <li>- Sistema de Puesta a Tierra: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tensiones significativas</li> <li>▪ Medidas suplementarias</li> <li>▪ Tipos de sistemas</li> <li>▪ Neutro aislado (SIT)</li> <li>▪ Neutro a tierra (STT)</li> <li>▪ Protección</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b> Aplicada: Observacional - Comparativa</p> <p><b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</b> Básica.</p> <p><b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:</b> Correlacional – Demostrativo</p> <div style="text-align: center;"> <pre> graph TD     OG[O.G.] &lt;--&gt; CF[C.F.]     OG -- "PE 1 -- CF1" --&gt; CF     OG -- "PE 2 -- CF2" --&gt; CF     OG -- "PE 3 -- CF3" --&gt; CF     OG --- HG[H.G.]     CF --- HG     </pre> </div> <p><b>POBLACIÓN:</b> 65 mediciones</p> <p><b>MUESTRA:</b> 56 mediciones</p> <p><b>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:</b> Inductivo – Deductivo Analítico – Sintético</p> <p><b>MÉTODO DE ESPECÍFICO:</b> Enfoque: Cuantitativo</p>

