INFORME PRUEBA RESISTIVDAD

INFORME DE PRUEBA RESISTIVIDAD DE TERRENO EN EL ESTABLECIMIENTO {{ nombreProyecto | default("N/A") }}

{{ direccionProyecto | default("N/A") }}

{{ nombreCiudadoMunicipio | default("N/A") }}, {{ nombreDepartamento | default("N/A") }}

{{ nombreCompleto | default("N/A") }}

{{ nroConteoTarjeta | default("N/A") }}

{{ nombreCargo | default("N/A") }}

GIGA ELECTROINGENIERIA S.AS.

NIT. 901.094.323-5

# {{ dia | default("N/A") }} DE {{ mes | default("N/A") }} DEL {{ anio | default("N/A") }}

# {{ nombreCiudadoMunicipio | default("N/A") }}

# Tabla de contenido.

[Tabla de contenido. 2](#_Toc207349988)

[Índice de tablas 3](#_Toc207349989)

[Índice de imágenes. 4](#_Toc207349990)

[Introducción. 5](#_Toc207349991)

[1. Objetivos. 6](#_Toc207349992)

[1.1. General 6](#_Toc207349993)

[1.2. Específicos 6](#_Toc207349994)

[2. Normas de referencia. 7](#_Toc207349995)

[3. Ubicación 9](#_Toc207349996)

[4. Alcance 9](#_Toc207349997)

[5. Metodología 10](#_Toc207349998)

[6. Descripción del equipo de medición 14](#_Toc207349999)

[7. Esquema de conexión y perfiles de medición 15](#_Toc207350000)

[15](#_Toc207350001)

[8. Gráficas de los parámetros 17](#_Toc207350002)

[9. Método Box-Cox 19](#_Toc207350003)

[10. Evidencias fotográficas 22](#_Toc207350004)

[11. Conclusiones 27](#_Toc207350005)

[12. Referencias Bibliográficas 28](#_Toc207350006)

# Índice de tablas

[**Tabla 1.** Valores de referencia de resistividad según el terreno 14](#_Toc207349951)

[**Tabla 2.** Conectividad método Wenner 15](#_Toc207349952)

[**Tabla 3.** Valores resistividad Perfil 1 16](#_Toc207349953)

[**Tabla 4.** Valores resistividad Perfil 2 16](#_Toc207349954)

[**Tabla 5.** Valores resistividad Perfil 3 17](#_Toc207349955)

[**Tabla 6.** Valores resistividad Perfil 4 17](#_Toc207349956)

[**Tabla 7.** Resistividad aparente medida 18](#_Toc207349957)

[**Tabla 8.** Tabla método Box-Cox 19](#_Toc207349958)

# Índice de imágenes.

[**Imagen 1.** Ubicación SOCODA, Rionegro-Antioquia 8](#_Toc207349959)

[**Imagen 2.** Método de Wenner 10](#_Toc207349960)

[**Imagen 3.** Curva de resistividad típica. Fuente norma EPM RA6-014 12](#_Toc207349961)

[**Imagen 4.** Telurómetro Metrel MI 3288 13](#_Toc207349962)

[**Imagen 5.** Curva de resistividad de terreno-SOCODA 20](#_Toc207349963)

[**Imagen 6.** Evidencias fotográficas Perfil 1 21](#_Toc207349964)

[**Imagen 7.** Evidencia fotográfica Perfil 2 22](#_Toc207349965)

[**Imagen 8.** Evidencia fotográfica Perfil 3 23](#_Toc207349966)

[**Imagen 9.** Evidencia fotográfica Perfil 4 24](#_Toc207349967)

[**Imagen 10.** Zonas de pruebas de los distintos perfiles 25](#_Toc207349968)

# Introducción.

El estudio de resistividad del terreno es un componente fundamental en el diseño y la instalación de sistemas de apantallamiento para subestaciones eléctricas. Este análisis permite evaluar las características eléctricas del suelo, garantizando que los sistemas de puesta a tierra cumplan con los estándares de seguridad y rendimiento requeridos para la operación de instalaciones eléctricas de alta potencia.

En el presente documento, se desarrollará el estudio de resistividad de terreno para la futura subestación eléctrica que se instalará en el establecimiento {{ nombreProyecto | default("N/A") }}, ubicado en el municipio de {{ nombreCiudadoMunicipio | default("N/A") }}, {{ nombreDepartamento | default("N/A") }}. El objetivo principal es determinar la resistividad del suelo en el área de instalación para diseñar un sistema de apantallamiento que mitigue eficazmente las sobretensiones y descargas atmosféricas, protegiendo así tanto la infraestructura eléctrica como la seguridad de las personas y equipos.

El sistema de apantallamiento adecuado garantizará que las corrientes de falla se disipen de manera eficiente, reduciendo el riesgo de electrocución y daños en los equipos. Este estudio se basa en normas técnicas y regulaciones internacionales, que aseguran que los resultados obtenidos sean confiables y sirvan como base para la posterior implementación de un sistema de protección adecuado para la subestación eléctrica de {{ nombreProyecto | default("N/A") }}.

Con este análisis, se pretende optimizar el diseño del sistema de puesta a tierra y garantizar el cumplimiento de los parámetros de seguridad necesarios para la correcta operación de la subestación en el contexto de la normativa colombiana e internacional.

# Objetivos.

# General

* Determinar la resistividad del terreno en el área designada para la instalación de la subestación eléctrica del establecimiento {{ nombreProyecto | default("N/A") }}, en el municipio de {{ nombreCiudadoMunicipio | default("N/A") }}, {{ nombreDepartamento | default("N/A") }}, con el fin de diseñar un sistema de apantallamiento que garantice la seguridad eléctrica, proteja a las personas, los equipos y asegure la adecuada operación de la subestación conforme a las normativas técnicas vigentes.

# Específicos

* Realizar mediciones de resistividad del terreno en diferentes puntos estratégicos del área donde se instalará la subestación eléctrica, utilizando métodos y equipos adecuados que garanticen la precisión de los resultados.
* Analizar los resultados obtenidos en las mediciones para determinar las características eléctricas del suelo, identificando posibles variaciones de resistividad y evaluando su impacto en el diseño del sistema de apantallamiento.
* Proponer medidas correctivas o de adecuación del terreno, en caso de que la resistividad medida no sea la adecuada para un sistema de puesta a tierra eficiente, con el fin de optimizar la capacidad de disipación de corriente y garantizar el correcto funcionamiento del sistema de apantallamiento.
* Elaborar un informe técnico detallado que incluya las mediciones, el análisis de los datos y las recomendaciones para la implementación del sistema de apantallamiento, asegurando el cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad en la operación de la subestación eléctrica.

# Normas de referencia.

En Colombia, el diseño del sistema de apantallamiento y la medición de la resistividad del terreno para subestaciones eléctricas debe seguir una serie de normas técnicas nacionales e internacionales que aseguran la correcta implementación de sistemas de puesta a tierra y protección contra sobretensiones. A continuación, se destacan las principales normas de referencia:

**NTC 2050 - Código Eléctrico Colombiano**

Descripción: Basada en el *National Electrical Code* (NEC), esta norma establece los requisitos mínimos de seguridad para las instalaciones eléctricas en Colombia. Define los parámetros generales para la puesta a tierra de sistemas eléctricos, incluidos los de subestaciones.

Relevancia: Proporciona los lineamientos sobre cómo debe diseñarse un sistema de puesta a tierra para garantizar la seguridad de las personas y equipos, asegurando que la resistividad del terreno se considere en el diseño.

**RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas)**

Descripción: El RETIE establece las condiciones técnicas y los procedimientos de seguridad que deben cumplir las instalaciones eléctricas en Colombia.

Relevancia: Define específicamente los requerimientos para la puesta a tierra de subestaciones eléctricas y los procedimientos de medición de resistividad del terreno, asegurando que los sistemas de apantallamiento funcionen correctamente.

**IEEE Std 80-2013 (Guide for Safety in AC Substation Grounding)**

Descripción: Esta guía de la *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) describe las mejores prácticas para el diseño de sistemas de puesta a tierra en subestaciones de corriente alterna (CA), incluyendo métodos de medición de resistividad y cálculos de gradientes de potencial.

Relevancia: Se utiliza para diseñar sistemas de puesta a tierra seguros y eficientes, tomando en cuenta la resistividad del terreno. Es una norma de referencia comúnmente adoptada en Colombia para el diseño de subestaciones.

**IEEE Std 81-2012 (Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System)**

Descripción: Proporciona procedimientos y métodos para la medición de la resistividad del terreno, la impedancia de puesta a tierra y los potenciales de superficie de un sistema de puesta a tierra.

Relevancia: Esta norma es fundamental para realizar mediciones precisas de resistividad, que son esenciales para diseñar sistemas de apantallamiento efectivos

**IEC 61936-1 (Instalaciones Eléctricas en Sistemas de Potencia de Alta Tensión)**

Descripción: La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) establece los requisitos para el diseño de instalaciones eléctricas en sistemas de potencia de alta tensión, incluyendo los sistemas de puesta a tierra.

Relevancia: Asegura que los sistemas de puesta a tierra en subestaciones sean seguros, considerando las características del terreno en el diseño del apantallamiento.

**IEC 62305 (Protección contra Rayos)**

Descripción: Define los requisitos de diseño para la protección de instalaciones eléctricas frente a rayos, abarcando el sistema de apantallamiento y puesta a tierra.

Relevancia: Esta norma es crucial para el diseño de sistemas de apantallamiento que protejan las subestaciones contra descargas atmosféricas, garantizando la correcta diseminación de la corriente a través de la tierra.

**IEEE Std 142-2007 (Grounding of Industrial and Commercial Power Systems)**

Descripción: Esta norma ofrece guías para la puesta a tierra de sistemas eléctricos en entornos industriales y comerciales, como las subestaciones.

Relevancia: Aporta un enfoque integral para el diseño del sistema de puesta a tierra y destaca la importancia de las características del terreno.

Estas normas sirven como referencia clave para el diseño y la implementación del sistema de apantallamiento de la subestación eléctrica del establecimiento SOCODA en Rionegro, asegurando que las mediciones de resistividad y los cálculos de puesta a tierra cumplan con los estándares de seguridad y eficiencia esperados.

# Ubicación

El establecimiento {{ nombreProyecto | default("N/A") }}, se encuentra ubicada en {{ direccion | default("N/A") }}, {{ nombreCiudadoMunicipio | default("N/A") }}, {{ nombreDepartamento | default("N/A") }}. En la **imagen 1** se indican las coordenadas de la ubicación del establecimiento.

{{ imgMapsProyecto | default("N/A") }}

**Imagen 1.** Ubicación {{ nombreProyecto | default("N/A") }}, {{ nombreCiudadoMunicipio | default("N/A") }}, {{ nombreDepartamento | default("N/A") }}

# Alcance

Este estudio de resistividad del terreno en el establecimiento {{ nombreProyecto | default("N/A") }}, ubicado en el municipio de {{ nombreCiudadoMunicipio | default("N/A") }}, {{ nombreDepartamento | default("N/A") }}, tiene como objetivo fundamental proporcionar los datos necesarios para diseñar un sistema de apantallamiento y puesta a tierra que garantice la seguridad operativa de la futura subestación eléctrica. Se indican los debidos registros y los distintos métodos para la interpretación de datos.

# Metodología

Para medir la resistividad del terreno en el establecimiento {{ nombreProyecto | default("N/A") }}, ubicado en el municipio de Rionegro, se pueden seguir los siguientes pasos, utilizando la **metodología de Wenner** que es una de las más comunes y recomendadas para este tipo de mediciones:

**Instrumentos Necesarios**

* **Telurómetro** o medidor de resistividad de suelos.
* **Piquetas de tierra** (electrodos).
* **Cables de conexión** (normalmente proporcionados con el equipo).
* **Cinta métrica** o regla para medir las distancias entre los electrodos.
* **Plano o esquema del área** para ubicar los puntos de medición.

**Procedimiento**

**a) Selección del área de medición**

* Identificar un área representativa del terreno donde se instalará el sistema de puesta a tierra o se evaluará la resistividad.
* El terreno debe estar libre de materiales conductores artificiales o interferencias cercanas como tuberías metálicas, cables subterráneos, etc.

**b) Preparación del equipo**

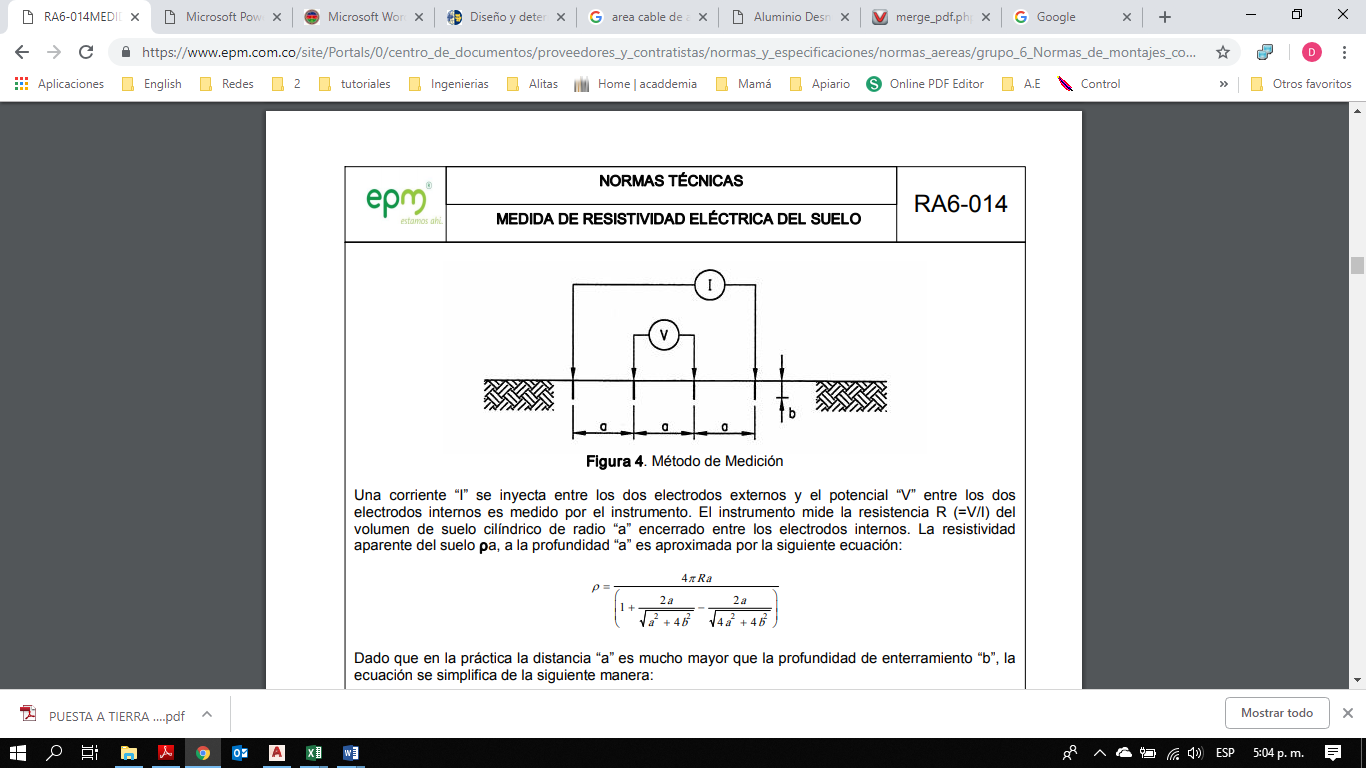
* Conectar el telurómetro a cuatro piquetas metálicas (electrodos), que se colocarán en línea recta sobre el terreno.
* Las piquetas deben estar separadas entre sí a una distancia igual y debidamente alineadas, de acuerdo con las especificaciones del equipo.

**c)** **Método Wenner: Colocación de los electrodos**

* Colocar las cuatro piquetas a intervalos iguales, formando una línea recta en el suelo. A cada piqueta se le asignará una denominación: A, B, C y D.
* La distancia entre los electrodos depende de la profundidad de la medición que se quiera realizar, pero generalmente se recomienda comenzar con separaciones de 5 a 20 metros.
* Cuanto más grande sea la separación, mayor será la profundidad efectiva que abarcará la medición.

**d) Medición**

El método de los cuatro puntos de Wenner es el método más preciso y popular. Son razones para esto que: el método obtiene la resistividad del suelo para capas profundas sin enterrar los electrodos a dichas profundidades; no es necesario un equipo pesado para realizar las medidas; los resultados no son afectados por la resistencia de los electrodos auxiliares o los huecos creados para hincarlos en el terreno.

El método consiste en enterrar pequeños electrodos tipo varilla, en cuatro huecos en el suelo, a una profundidad “b” y espaciados (en línea recta) una distancia “a” cómo se ilustra en la **imagen 2.**

**Imagen 2.** Método de Wenner

Una corriente “I” se inyecta entre los dos electrodos externos y el potencial “V” entre los dos electrodos internos es medido por el instrumento. El instrumento mide la resistencia R (=V/I) del volumen de suelo cilíndrico de radio “a” encerrado entre los electrodos internos. La resistividad aparente del suelo ρa, a la profundidad “a” es aproximada por la siguiente ecuación:

Donde:

ρa: Resistividad aparente

a: distancia de separación de electrodos.

b: Profundidad de enterramiento de los electrodos.

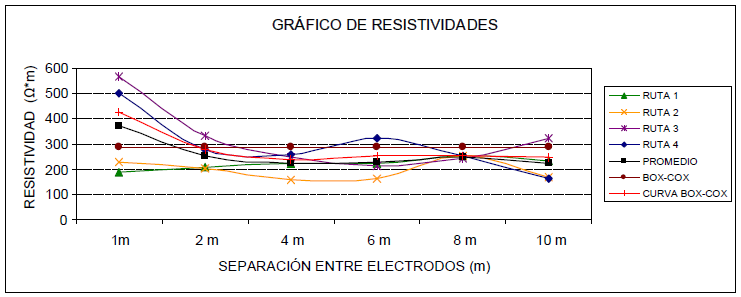
R: Resistencia medida por el equipo.

Dado que en la práctica la distancia “a” es mucho mayor que la profundidad de enterramiento “b”, la ecuación se simplifica de la siguiente manera:

Para determinar el cambio de la resistividad del suelo con la profundidad, el espaciamiento entre electrodos se varía desde unos pocos metros hasta un espaciamiento igual o mayor que la máxima dimensión esperada del sistema de puesta a tierra (por ejemplo, la mayor distancia posible entre 2 puntos de una malla, o la profundidad de las varillas).

El espaciamiento “a” del electrodo se interpreta como la profundidad aproximada a la cual se lee la resistividad del suelo. Para caracterizar la variación de la resistividad del suelo dentro de un área específica, se deben realizar varios grupos de medidas (perfiles) en diferentes direcciones.

Diferentes lecturas tomadas con varios espaciamientos alineados dan un grupo de resistividades (perfil), que cuando son graficadas contra el espaciamiento, indican si hay capas diferentes de suelo y dan una idea de su respectiva profundidad y resistividad. La **imagen 3** ilustra este concepto.



**Imagen 3.** Curva de resistividad típica. Fuente norma EPM RA6-014

**Factores a tener en cuenta**

* **Humedad**: La resistividad varía significativamente con la humedad del suelo. Por lo tanto, se debe considerar la época del año o si es necesario humedecer el terreno durante la medición.
* **Tipo de suelo**: La resistividad puede variar según si el terreno es rocoso, arcilloso, arenoso, etc.
* **Profundidad**: Si se requiere una profundidad de medición mayor, es posible ajustar la distancia entre los electrodos para abarcar más terreno.

**Informe Final**

* El informe final de la medición debe incluir:
* Descripción del área de medición.
* Método utilizado (Wenner).
* Resultados obtenidos en ohm-metros.
* Gráficos o tablas de las mediciones realizadas en diferentes áreas del terreno.
* Recomendaciones para la instalación de sistemas de puesta a tierra basados en los resultados.
* Esta metodología permitirá obtener resultados confiables para la resistividad del terreno en el establecimiento SOCODA y facilitará la correcta instalación del sistema de puesta a tierra para garantizar la seguridad eléctrica

# Descripción del equipo de medición

El Comprobador (MI 3288) TA (Tierra / Aislamiento) es un dispositivo multifunción de prueba portátil con batería (Li-ion) con una excelente protección IP IP54, que se usa para: medir tensión y frecuencia (TRMS), medir resistencia de aislamiento hasta 2,5 kV, resistencia e impedancia de tierra, resistencia específica de tierra, medir el potencial de tierra y continuidad (7 mA, 200 mA). Ha sido diseñado y fabricado en base a la rica y extensa experiencia adquirida a través de muchos años de trabajo en este ámbito.



**Imagen 4.** Telurómetro Metrel MI 3288

Funciones y características disponibles ofrecidas por el Comprobador MI 3288:

* Medición de tensión y frecuencia hasta 1 kV TRMS;
* Impedancia o resistencia de tierra de 2, 3, 4 polos;
* Impedancia selectiva de tierra (pinza);
* Medición de 2 pinzas
* Resistividad ρ (método Wenner, Schlumberger);
* Potencial de tierra;
* Medición de aislamiento de 50 a 2500 V;
* Índice de polarización (PI) y ratio de absorción dieléctrica (DAR);
* Relación de descarga dieléctrica (DD);
* Medición de capacitancia;
* Prueba de varistor (dispositivos de protección contra sobretensión);
* Ω-metro (7 mA y 200 mA);
* Medición de corriente RMS;
* Auto Sequence®;
* Prueba visual.

# Esquema de conexión y perfiles de medición

**Tabla 1.** Valores de referencia de resistividad según el terreno

| **RESISTIVIDAD: VALORES DE REFERENCIA-CONEXIÓN** | | |
| --- | --- | --- |
| Instrumento empleado: MI 3288 | | Fecha de calibración: 29/11/2024 |
| Fabricante / modelo: METREL | | N.º Serie: 23250485 |
| Valores de referencia de la resistividad del terreno. Valores esperados. |  | |
| **a:** Distancia entre los electrodos  **b:** Profundidad a la que entierra el electrodo | | |

**Tabla 2.** Conectividad método Wenner

# Gráficas de los parámetros

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **PERFIL 1** | | | | |
| **Distancia de separación entre electrodos [m]** | **MEDIDA 1[Ωm]** | **MEDIDA 2 [Ωm]** | **MEDIDA 3[Ωm]** | **PROMEDIO[Ωm]** |
| **a=1** | {{ valPerf1Med1Dis1 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Med2Dis1 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Med3Dis1 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Dis1Prom | default("N/A") }} |
| **a=2** | {{ valPerf1Med1Dis2 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Med2Dis2 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Med3Dis2 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Dis2Prom | default("N/A") }} |
| **a=4** | {{ valPerf1Med1Dis4 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Med2Dis4 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Med3Dis4 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Dis4Prom | default("N/A") }} |
| **a=6** | {{ valPerf1Med1Dis6 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Med2Dis6 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Med3Dis6 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Dis6Prom | default("N/A") }} |
| **a=8** | {{ valPerf1Med1Dis8 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Med2Dis8 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Med3Dis8 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Dis8Prom | default("N/A") }} |
| **a=10** | {{ valPerf1Med1Dis10 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Med2Dis10 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Med3Dis10 | default("N/A") }} | {{ valPerf1Dis10Prom | default("N/A") }} |
| Comentarios: {{ comentariosPerf1 | default("N/A") }} | | | | |

**Tabla 3.** Valores resistividad Perfil 1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **PERFIL 2** | | | | |
| **Distancia de separación entre electrodos [m]** | **MEDIDA 1 [Ωm]** | **MEDIDA 2 [Ωm]** | **MEDIDA 3[Ωm]** | **PROMEDIO[Ωm]** |
| **a=1** | {{ valPerf2Med1Dis1 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Med2Dis1 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Med3Dis1 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Dis1Prom | default("N/A") }} |
| **a=2** | {{ valPerf2Med1Dis2 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Med2Dis2 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Med3Dis2 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Dis2Prom | default("N/A") }} |
| **a=4** | {{ valPerf2Med1Dis4 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Med2Dis4 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Med3Dis4 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Dis4Prom | default("N/A") }} |
| **a=6** | {{ valPerf2Med1Dis6 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Med2Dis6 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Med3Dis6 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Dis6Prom | default("N/A") }} |
| **a=8** | {{ valPerf2Med1Dis8 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Med2Dis8 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Med3Dis8 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Dis8Prom | default("N/A") }} |
| **a=10** | {{ valPerf2Med1Dis10 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Med2Dis10 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Med3Dis10 | default("N/A") }} | {{ valPerf2Dis10Prom | default("N/A") }} |
| Comentarios: {{ comentariosPerf2 | default("N/A") }} | | | | |

**Tabla 4.** Valores resistividad Perfil 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| PERFIL 3 | | | | |
| **Distancia de separación entre electrodos [m]** | **MEDIDA 1 [Ωm]** | **MEDIDA 2 [Ωm]** | **MEDIDA 3[Ωm]** | **PROMEDIO[Ωm]** |
| **a=1** | {{ valPerf3Med1Dis1 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Med2Dis1 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Med3Dis1 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Dis1Prom | default("N/A") }} |
| **a=2** | {{ valPerf3Med1Dis2 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Med2Dis2 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Med3Dis2 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Dis2Prom | default("N/A") }} |
| **a=4** | {{ valPerf3Med1Dis4 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Med2Dis4 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Med3Dis4 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Dis4Prom | default("N/A") }} |
| **a=6** | {{ valPerf3Med1Dis6 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Med2Dis6 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Med3Dis6 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Dis6Prom | default("N/A") }} |
| **a=8** | {{ valPerf3Med1Dis8 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Med2Dis8 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Med3Dis8 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Dis8Prom | default("N/A") }} |
| **a=10** | {{ valPerf3Med1Dis10 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Med2Dis10 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Med3Dis10 | default("N/A") }} | {{ valPerf3Dis10Prom | default("N/A") }} |
| Comentarios: {{ comentariosPerf3 | default("N/A") }} | | | | |

**Tabla 5.** Valores resistividad Perfil 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| PERFIL 4 | | | | |
| **Distancia de separación entre electrodos [m]** | **MEDIDA 1 [Ωm]** | **MEDIDA 2 [Ωm]** | **MEDIDA 3[Ωm]** | **PROMEDIO[Ωm]** |
| **a=1** | {{ valPerf4Med1Dis1 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Med2Dis1 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Med3Dis1 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Dis1Prom | default("N/A") }} |
| **a=2** | {{ valPerf4Med1Dis2 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Med2Dis2 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Med3Dis2 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Dis2Prom | default("N/A") }} |
| **a=4** | {{ valPerf4Med1Dis4 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Med2Dis4 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Med3Dis4 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Dis4Prom | default("N/A") }} |
| **a=6** | {{ valPerf4Med1Dis6 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Med2Dis6 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Med3Dis6 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Dis6Prom | default("N/A") }} |
| **a=8** | {{ valPerf4Med1Dis8 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Med2Dis8 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Med3Dis8 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Dis8Prom | default("N/A") }} |
| **a=10** | {{ valPerf4Med1Dis10 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Med2Dis10 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Med3Dis10 | default("N/A") }} | {{ valPerf4Dis10Prom | default("N/A") }} |
| Comentarios: {{ comentariosPerf4 | default("N/A") }} | | | | |

**Tabla 6.** Valores resistividad Perfil 4

# Método Box-Cox

El **método Box-Cox** es una técnica estadística utilizada para transformar un conjunto de datos no normales (como la resistividad del terreno) en uno más cercano a la normalidad, facilitando análisis estadísticos más precisos. En un estudio de **resistividad del terreno**, los valores de resistividad pueden variar ampliamente debido a las condiciones del suelo, como la composición mineral, la humedad, y la compactación, lo que a menudo produce distribuciones sesgadas. La transformación de Box-Cox ayuda a estabilizar la varianza y mejorar la normalidad de los datos, permitiendo aplicar modelos más confiables.

**Aplicación del Método Box-Cox para Resistividad del Terreno**

La resistividad del terreno es una medida clave en estudios geotécnicos, sistemas de puesta a tierra, y en ingeniería civil. Sin embargo, los valores de resistividad suelen ser muy dispersos y tener una distribución asimétrica, lo que dificulta la aplicación de análisis que dependen de la normalidad de los datos.

Por ejemplo, las mediciones de resistividad en diferentes puntos de un terreno pueden mostrar variaciones extremas debido a cambios en el tipo de suelo, la humedad o la presencia de rocas o minerales conductores. Si no se ajustan, estos datos pueden producir resultados imprecisos en análisis posteriores.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Distancia de separación entre electrodos [m]** | **PERFIL 1 [Ωm]** | **PERFIL 2 [Ωm]** | **PERFIL 3 [Ωm]** | **PERFIL 4 [Ωm]** | **PROMEDIO [Ωm]** |
| **1** | {{ valPerf1Dis1Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf2Dis1Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf3Dis1Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf4Dis1Prom | default("N/A") }} | {{ valPromGenDis1 | default("N/A") }} |
| **2** | {{ valPerf1Dis2Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf2Dis2Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf3Dis2Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf4Dis2Prom | default("N/A") }} | {{ valPromGenDis2 | default("N/A") }} |
| **4** | {{ valPerf1Dis4Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf2Dis4Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf3Dis4Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf4Dis4Prom | default("N/A") }} | {{ valPromGenDis4 | default("N/A") }} |
| **6** | {{ valPerf1Dis6Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf2Dis6Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf3Dis6Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf4Dis6Prom | default("N/A") }} | {{ valPromGenDis6 | default("N/A") }} |
| **8** | {{ valPerf1Dis8Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf2Dis8Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf3Dis8Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf4Dis8Prom | default("N/A") }} | {{ valPromGenDis8 | default("N/A") }} |
| **10** | {{ valPerf1Dis10Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf2Dis10Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf3Dis10Prom | default("N/A") }} | {{ valPerf4Dis10Prom | default("N/A") }} | {{ valPromGenDis10 | default("N/A") }} |

**Tabla 7.** Resistividad aparente medida

| **ÍTEM** | **Pi** | **Xi=LnPi** | **(Xi-x)2** |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | {{ valPerf1Dis1Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf1Dis1Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf1Dis1 | default("N/A") }} |
| 2 | {{ valPerf1Dis2Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf1Dis2Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf1Dis2 | default("N/A") }} |
| 3 | {{ valPerf1Dis4Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf1Dis4Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf1Dis4 | default("N/A") }} |
| 4 | {{ valPerf1Dis6Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf1Dis6Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf1Dis6 | default("N/A") }} |
| 5 | {{ valPerf1Dis8Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf1Dis8Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf1Dis8 | default("N/A") }} |
| 6 | {{ valPerf1Dis10Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf1Dis10Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf1Dis10 | default("N/A") }} |
| 7 | {{ valPerf2Dis1Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf2Dis1Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf2Dis1 | default("N/A") }} |
| 8 | {{ valPerf2Dis2Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf2Dis2Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf2Dis2 | default("N/A") }} |
| 9 | {{ valPerf2Dis4Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf2Dis4Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf2Dis4 | default("N/A") }} |
| 10 | {{ valPerf2Dis6Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf2Dis6Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf2Dis6 | default("N/A") }} |
| 11 | {{ valPerf2Dis8Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf2Dis8Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf2Dis8 | default("N/A") }} |
| 12 | {{ valPerf2Dis10Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf2Dis10Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf2Dis10 | default("N/A") }} |
| 13 | {{ valPerf3Dis1Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf3Dis1Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf3Dis1 | default("N/A") }} |
| 14 | {{ valPerf3Dis2Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf3Dis2Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf3Dis2 | default("N/A") }} |
| 15 | {{ valPerf3Dis4Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf3Dis4Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf3Dis4 | default("N/A") }} |
| 16 | {{ valPerf3Dis6Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf3Dis6Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf3Dis6 | default("N/A") }} |
| 17 | {{ valPerf3Dis8Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf3Dis8Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf3Dis8 | default("N/A") }} |
| 18 | {{ valPerf3Dis10Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf3Dis10Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf3Dis10 | default("N/A") }} |
| 19 | {{ valPerf4Dis1Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf4Dis1Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf4Dis1 | default("N/A") }} |
| 20 | {{ valPerf4Dis2Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf4Dis2Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf4Dis2 | default("N/A") }} |
| 21 | {{ valPerf4Dis4Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf4Dis4Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf4Dis4 | default("N/A") }} |
| 22 | {{ valPerf4Dis6Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf4Dis6Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf4Dis6 | default("N/A") }} |
| 23 | {{ valPerf4Dis8Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf4Dis8Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf4Dis8 | default("N/A") }} |
| 24 | {{ valPerf4Dis10Prom | default("N/A") }} | {{ lnPerf4Dis10Prom | default("N/A") }} | {{ cuadradoPerf4Dis10 | default("N/A") }} |
| SUMA | {{ valSumaListadoPromedios | default("N/A") }} | {{ valSumaListadoLogaritmos | default("N/A") }} | {{ valSumaListadoElevados | default("N/A") }} |
| PROMEDIO(x) | {{ valPromedioListadoPromedios | default("N/A") }} | {{ valPromedioListadoLogaritmos | default("N/A") }} | {{ valPromedioListadoElevados | default("N/A") }} |
| DESV STAND | {{ valDesvEstandar | default("N/A") }} | {{ valRaizPromedioElevados | default("N/A") }} | |
| Anti Log | {{ valAntiLogaritmo | default("N/A") }} |
| RESISTIVIDAD CON EL 70% |  | **{{ valResistividad | default("N/A") }} [Ωm]** | |

**Tabla 8.** Tabla método Box-Cox

{{ imgCurvaResistividad | default("N/A") }}

**Imagen 5.** Curva de resistividad de terreno - {{ nombreProyecto | default("N/A") }}

# Evidencias fotográficas

|  |  |
| --- | --- |
| {{ imgPerf1Prueba1 | default("N/A") }} | {{ imgPerf1Prueba2 | default("N/A") }} |
| {{ imgPerf1Prueba3 | default("N/A") }} | {{ imgPerf1Prueba4 | default("N/A") }} |
| {{ imgPerf1Prueba5 | default("N/A") }} | {{ imgPerf1Prueba6 | default("N/A") }} |

**Imagen 6.** Evidencias fotográficas Perfil 1

|  |  |
| --- | --- |
| {{ imgPerf2Prueba1 | default("N/A") }} | {{ imgPerf2Prueba2 | default("N/A") }} |
| {{ imgPerf2Prueba3 | default("N/A") }} | {{ imgPerf2Prueba4 | default("N/A") }} |
| {{ imgPerf2Prueba5 | default("N/A") }} | {{ imgPerf2Prueba6 | default("N/A") }} |

**Imagen 7.** Evidencia fotográfica Perfil 2

|  |  |
| --- | --- |
| {{ imgPerf3Prueba1 | default("N/A") }} | {{ imgPerf3Prueba2 | default("N/A") }} |
| {{ imgPerf3Prueba3 | default("N/A") }} | {{ imgPerf3Prueba4 | default("N/A") }} |
| {{ imgPerf3Prueba5 | default("N/A") }} | {{ imgPerf3Prueba6 | default("N/A") }} |

**Imagen 8.** Evidencia fotográfica Perfil 3

|  |  |
| --- | --- |
| {{ imgPerf1Prueba1 | default("N/A") }} | {{ imgPerf1Prueba2 | default("N/A") }} |
| {{ imgPerf1Prueba3 | default("N/A") }} | {{ imgPerf1Prueba4 | default("N/A") }} |
| {{ imgPerf1Prueba5 | default("N/A") }} | {{ imgPerf1Prueba6 | default("N/A") }} |

**Imagen 9.** Evidencia fotográfica Perfil 4

|  |
| --- |
| {{ imgCampo1 | default("N/A") }} |
| {{ imgCampo1 | default("N/A") }} |

**Imagen 10.** Zonas de pruebas de los distintos perfiles

# Conclusiones

* Analizando la línea de tendencia en el perfil de resistividad promedio, los resultados muestran que los valores de resistividad del terreno para el Proyecto muestran un perfil creciente que van desde {{ valMinPerfiles | default("N/A") }} Ωm hasta {{ valMaxPerfiles | default("N/A") }} Ωm.
* El valor de la resistividad con el método Box-Cox es {{ valResistividad | default("N/A") }} Ωm.
* Estos resultados se pueden utilizar como componente informativo y de referencia en el proceso de diseño de la malla de puesta a tierra y su geometría.
* Los valores medidos pueden variar según las condiciones climáticas presentes en la zona.
* Se recomienda después de efectuar la construcción la malla de puesta a tierra según diseño a utilizar, realizar mediciones de resistencia de puesta a tierra para efectuar una comprobación directa de este valor, del sistema construido frente al diseñado.

En el proceso de construcción de la malla de puesta a tierra, se recomienda realizar el tratamiento químico del terreno para reducir la resistividad del terreno y así garantizar los valores de puesta a tierra exigidos por la normativa vigente

# Referencias Bibliográficas

[1] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución No. 180466 de abril 2 de 2007.Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).

[2] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Código eléctrico colombiano, NTC 2050. Bogotá. D.C: El Instituto, 2008. 847 p.

[3] COMMISION, INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL. Protection against lightning 62305 1-2-3 ed1. s.l.: CDV IEC, 2009.

[4] IEEE Std 80-2013 (Revision of IEEE Std 80-2000/Incorporates IEEE Std 80-2013/Cor 1- 2015). IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, 2013.

[5] IEEE Std 142-2007 (Revision of IEEE Std 142-1991). Grounding of Industrial and Commercial Power Systems, 2007.

[6] NORMA EPM RA6-010. Puesta a tierra de redes de distribución eléctrica, junio 2011.

[7] NORMA EPM RA6-014. Medida de resistividad eléctrica del suelo, mayo de 2008

[8] EMTP/ATP – Licencia de Uso otorgada por Coordinador del Comité Venezolano de Usuarios de ATP (CVUA).

[9] IEEE Std 837 1989 - IEEE Standard for Qualifying Permanent Connections Used in Substation Grounding.