

**Study and Design of a Grounding System at the Luis Arboleda Martínez
Manta Higher Technological Institute**

**Estudio y Diseño de un Sistema Puesta A Tierra en el
Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez Manta**

Autores:

Mera-Macías, Fabián Fernando
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTÍNEZ
Ingeniero Eléctrico – Mg. en Prevención De Riesgos Laborales
Docente Tutor del área de Electricidad
Manta – Ecuador



f.mera@istlam.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-5076-0628>

Ronquillo-Camino, Christian José
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTÍNEZ
Egresado de la carrera Tecnología Superior en Electricidad
Manta – Ecuador



christian.emelec95@gmail.com



<https://orcid.org/0009-0001-6924-7816>

Quimis-Pin, Fabián Alexander
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTÍNEZ
Egresado de la carrera Tecnología Superior en Electricidad
Manta – Ecuador



fabiaan69@hotmail.es



<https://orcid.org/0009-0007-5688-9936>

Fechas de recepción: 28-JUN-2025 aceptación: 28-JUL-2025 publicación: 30-SEP-2025



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

El presente estudio tiene como propósito garantizar la seguridad de las personas, la protección de los equipos eléctricos y la continuidad operativa de las instalaciones del Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, mediante el análisis y diseño de un sistema de puesta a tierra eficiente y conforme a la normativa vigente. El objetivo principal fue evaluar las condiciones actuales del sistema de puesta a tierra en el campus matriz ubicado en la ciudad de Manta, identificar deficiencias técnicas y proponer un diseño adecuado que asegure una resistencia eléctrica óptima para la correcta disipación de corrientes de falla o descargas atmosféricas.

La metodología utilizada se basó en un enfoque cuantitativo, iniciando con una inspección técnica in situ, levantamiento de datos mediante pruebas de resistencia de tierra con telurómetro, análisis del terreno y del tipo de suelo. Posteriormente, se realizaron cálculos eléctricos normativos siguiendo las guías establecidas por el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN, IEEE 80 y NEC.

Con base en estos datos, se desarrolló un diseño del sistema de puesta a tierra, seleccionando los materiales, configuraciones y métodos constructivos más adecuados para garantizar una resistencia eléctrica dentro de los límites permitidos y asegurar una operación segura y confiable. Finalmente, el estudio propone recomendaciones para la implementación, mantenimiento y monitoreo continuo del sistema, buscando minimizar riesgos eléctricos y cumplir con los estándares requeridos para instituciones educativas.

Palabras clave: Puesta a tierra; riesgo eléctrico; telurómetro; resistividad; protecciones



Abstract

The purpose of this study is to ensure the safety of individuals, the protection of electrical equipment, and the operational continuity of the facilities at the Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez through the analysis and design of an efficient grounding system in compliance with current regulations. The main objective was to assess the current conditions of the grounding system at the main campus located in the city of Manta, identify technical deficiencies, and propose an appropriate design that ensures optimal electrical resistance for the proper dissipation of fault currents or atmospheric discharges.

The methodology used was based on a quantitative approach, starting with an on-site technical inspection, data collection through ground resistance testing using a ground resistance tester (telurómetro), and analysis of the terrain and soil type. Subsequently, standardized electrical calculations were performed following the guidelines established by the Ecuadorian Technical Regulation (RTE INEN), IEEE Std 80, and the National Electrical Code (NEC).

Based on this data, a grounding system design was developed, selecting the most suitable materials, configurations, and construction methods to guarantee electrical resistance within the permitted limits and ensure safe and reliable operation. Finally, the study proposes recommendations for the implementation, maintenance, and continuous monitoring of the system, aiming to minimize electrical risks and comply with the required standards for educational institutions.

Keywords: Grounding system; electrical risk; ground resistance tester; resistivity; protections



Introducción

La seguridad eléctrica es un aspecto fundamental en cualquier instalación, particularmente en entornos educativos donde la protección de los usuarios, tanto estudiantes como personal docente y administrativo, debe ser prioritaria. En este contexto, uno de los sistemas más importantes es el de puesta a tierra, que tiene como función principal garantizar un camino de baja resistencia para la circulación de corrientes no deseadas, como las derivadas de fallas eléctricas, descargas atmosféricas o sobretensiones, protegiendo tanto a las personas como a los equipos eléctricos (NFPA, 2020).

En el caso del Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez en Manta, se ha identificado la ausencia de información precisa sobre el sistema de puesta a tierra actual. Esta falta de registros representa un riesgo potencial para la seguridad de la infraestructura y la comunidad educativa. Es por ello por lo que se hace necesario realizar un estudio técnico detallado que permita conocer el estado del sistema de puesta a tierra existente y, en su caso, diseñar uno nuevo que cumpla con los estándares de seguridad exigidos por las normativas nacionales e internacionales (MERNNR, 2022).

En Ecuador, El Reglamento Nacional de Electricidad se refiere a un conjunto de normas y regulaciones que rigen las actividades relacionadas con la electricidad en un país. Estas regulaciones abarcan desde la generación y transmisión hasta la distribución y uso de la energía eléctrica. En Ecuador, el reglamento principal es la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE) (REPUBLICA DEL ECUADOR, 2018), aprobado por la (ARCSA, 2021), establece requisitos claros para los sistemas de puesta a tierra en las instalaciones eléctricas. En este sentido, la Norma Ecuatoriana de Construcción / Instalaciones Eléctricas (NEC) (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018), que regula las condiciones de seguridad y los procedimientos para instalaciones eléctricas en el país, es una herramienta esencial para el diseño de sistemas de protección eléctrica. El Reglamento Nacional de Electricidad (RNE) establece que todos los sistemas eléctricos deben incluir una puesta a tierra adecuada que minimice el riesgo de electrocución y daño a equipos debido a fallas eléctricas (MERNNR, 2022).

El estudio de la resistividad del suelo es un aspecto clave para el diseño de un sistema de puesta a tierra eficiente. Según investigaciones recientes (Kundu et al., 2025) han confirmado



que la resistividad del suelo depende de su composición geológica, principalmente del contenido de humedad, densidad y salinidad, lo que influye directamente en la selección de electrodos y en el diseño de la malla de puesta a tierra para asegurar una adecuada disipación de corriente. Este análisis es indispensable para determinar la correcta implementación de un sistema que cumpla con los valores establecidos por el Reglamento Nacional de Electricidad (RNE) y otras normativas internacionales como la IEEE 80 (IEEE Power and Energy Society, 2013), que establece guías para la seguridad en sistemas de puesta a tierra.

El diseño propuesto para el sistema de puesta a tierra del Instituto incluye la selección de materiales como varillas de cobre, conductores de baja resistencia, y electrodos con capacidad de drenaje de corrientes hacia el suelo, que cumplen con las especificaciones del RETIE (ICONTEC, 2021) y otras normativas locales e internacionales. A través de este diseño, se busca reducir la resistencia de puesta a tierra a valores inferiores a 5 ohmios, como lo exige la legislación ecuatoriana (Guel, 2021).

Material y Métodos

Material

En el estudio y diseño del sistema de puesta a tierra del Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, se utilizan instrumentos de medición que permiten obtener datos sobre las condiciones eléctricas del terreno.

Estos instrumentos proporcionan información que permite tomar decisiones técnicas adecuadas para el diseño e implementación de un sistema de puesta a tierra confiable y eficiente.

Los materiales requeridos para la instalación del sistema puesta a tierra se detallan en la siguiente la tabla 1.



Tabla 1

Lista de Materiales para el Sistema de Puesta a Tierra.

| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | Características Técnicas |
|------|---|--------|----------|---|
| 1 | Conductor de cobre desnudo | Metro | 24 | Calibre 2 AWG (33.6 mm ²), alta conductividad |
| 2 | Varillas de puesta a tierra (jabalinas) | Unidad | 6 | Cobreado, 5/8", 2.4 m de largo, UL Listed |
| 3 | Conectores tipo clamp o abrazadera para varilla | Unidad | 6 | Latón o bronce, resistentes a la corrosión |
| 4 | Caja de inspección para puesta a tierra | Unidad | 1 | Polímero o concreto, con tapa removible |
| 5 | Soldadura exotérmica (kits o cargas) | Carga | 6 | Carga #90, para unión conductor-varilla |
| 6 | Telurómetro Digital | Unidad | 1 | Mide la resistividad del terreno. |

Fuente: (Autoría Propia, 2025).

El uso del telurómetro resulta fundamental para verificar que la resistividad del suelo sea lo bastante baja como para garantizar la correcta disipación de las corrientes eléctricas hacia la tierra. Si el terreno presenta una resistividad elevada, podría no ser apto para una puesta a tierra efectiva, lo que aumentaría el riesgo ante posibles fallas eléctricas (ARMOTEC, 2023).

Métodos

Para el desarrollo del estudio y diseño se empleará una metodología cuantitativa, de tipo descriptivo y diagnóstico, cuyo propósito es realizar las mediciones para diseñar propuesta de sistema puesta a tierra. La investigación se desarrollará durante el primer semestre del año 2025, dentro de las instalaciones del Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez.

Tipo de Investigación

La investigación que se desarrollará es de tipo cuantitativa, debido a que se basa en la recolección, medición y análisis de datos numéricos relacionados con las características eléctricas del sistema de puesta a tierra. Se emplean métodos cuantificables para obtener



resultados objetivos y medibles sobre la resistencia a tierra y el estado físico de los componentes del sistema.

El presente estudio es adecuado para el diseño de puesta a tierra, ya que se identificó que el instituto no contaba con este sistema; a partir del análisis técnico conforme a las normativas nacionales, se determinó la necesidad de implementar una malla que garantice la seguridad de las personas y equipos, cumpliendo con lo establecido en el Reglamento de Seguridad y Salud para los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo (Decreto Ejecutivo 2393) y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2119.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para asegurar la confiabilidad de la información recopilada, se utilizarán las siguientes técnicas e instrumentos:

- **Inspección Visual:** Aunque se presume la existencia de un sistema de puesta a tierra en la infraestructura, no se cuenta con documentación técnica que indique su ubicación ni detalles de su instalación. Durante la inspección visual no fue posible identificar elementos como electrodos, conductores o conexiones, ya que estos se encuentran fundidos bajo concreto y no se cuenta con planos eléctricos donde se pueda verificar la existencia es esta, lo que también impide evaluar su estado físico.
- **Mediciones Eléctricas:** Se utilizará un telurómetro digital (marca AEMC) para medir la resistencia eléctrica en diferentes puntos del sistema. Estas mediciones son cruciales para determinar si los valores cumplen con los límites máximos establecidos en las normas INEN 255 e INEN 2810 (CRESPO, 2023).

Método Wenner para el Diseño del Sistema Puesta a Tierra del Instituto

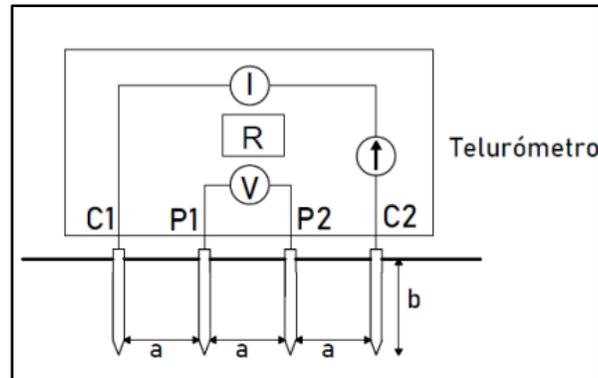
Se eligió el método Wenner para realizar el estudio de resistividad del suelo porque es uno de los procedimientos más precisos, sencillos y ampliamente utilizados en estudios de sistemas de puesta a tierra, obteniendo resultados precisos y confiables sobre las características eléctricas del terreno del Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez. Durante la medición, se colocó cuatro electrodos alineados y equidistantes en el suelo, y aplico corriente a través de los electrodos exteriores mientras se midió la diferencia



de potencial en los electrodos interiores. Este procedimiento facilita calcular la resistividad aparente del terreno en diferentes profundidades, lo que es clave para determinar el tipo y configuración adecuada del sistema de puesta a tierra.

Figura 1

Método Wenner



Nota. Técnica utilizada para medir la resistividad del suelo, principalmente en estudios de sistemas de puesta a tierra y geotecnia.

Fuente: (Telurometro, 2019).

La elección del método Wenner se basa en su facilidad de aplicación en campo, su efectividad en suelos homogéneos o poco estratificados y su reconocimiento en normativas técnicas. Gracias a este método, obtengo una base sólida de datos que me permite diseñar un sistema seguro, eficiente y adaptado a las condiciones reales del terreno.

Cálculo de la Resistividad

El procedimiento inicia con un levantamiento de información que incluye el estudio del tipo de suelo y la resistencia específica del terreno. El cálculo de la resistencia se realizó mediante el método Wenner, utilizando el telurómetro se tomaron mediciones para levantar los datos del área, posteriormente aplicando la fórmula correspondiente se obtuvo el valor de resistividad.

La siguiente tabla presenta los resultados del cálculo, incluyendo las variables consideradas: distancia entre electrodos, profundidad de inserción y medición obtenida. El valor promedio de la resistividad del terreno registrado fue de 17,43 ohm-m, lo cual indica una adecuada

capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica. Este parámetro es importante en el diseño del sistema de puesta a tierra, ya que influye directamente en su eficiencia y en el cumplimiento de los requisitos normativos.

Las mediciones fueron efectuadas considerando la separación y profundidad de los electrodos. En esta etapa, se realizó una única toma de datos (Evidencia fotográfica en Anexos), la cual permitió obtener los valores necesarios para calcular la resistividad del suelo mediante la fórmula estándar del método de Wenner.

Tabla 2

Datos de Medición Telurómetro

| SEPARACIÓN ELECTRODOS (METROS) | ENTERRAMIENTO ELECTRODOS (METROS) | LECTURAS DE RESISTENCIA EQUIPO Re (Ω) | CANTIDAD DE MEDICIONES | SUMATORIA (Ω) | RESISTENCIA PROMEDIO (Ω) | RESISTIVIDAD (Ω/m) |
|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------|---------------|--------------------------|--------------------|
| | | TOMA 1 | | | | |
| 1,0 m | 0,3 m | 6,08 | 1 | 6,080 Ω | 6,080 Ω | 38,202 Ω•m |
| 2,0 m | 0,3 m | 1,55 | 1 | 1,550 Ω | 1,550 Ω | 19,478 Ω•m |
| 4,0 m | 0,3 m | 0,81 | 1 | 0,810 Ω | 0,810 Ω | 20,358 Ω•m |
| 6,0 m | 0,3 m | 0,21 | 1 | 0,210 Ω | 0,210 Ω | 7,917 Ω•m |
| 8,0 m | 0,3 m | 0,37 | 1 | 0,370 Ω | 0,370 Ω | 18,598 Ω•m |
| | | | | | PROMEDIO (Ω•m) | 17,43 Ω•m |

Nota. Registro de los valores de resistencia eléctrica obtenidos al medir la resistividad del suelo utilizando un Telurómetro.

Fuente: (Autoría Propia, 2025).

La propuesta presentada se fundamenta en el cumplimiento normativo (tabla 3), con el objetivo de asegurar que el diseño del sistema de puesta a tierra no solo sea técnicamente eficiente, sino también legalmente válido y seguro. En este sentido, se ha tomado como base el Reglamento Nacional de Electricidad (RNE), el cual establece los lineamientos mínimos obligatorios en materia de seguridad eléctrica dentro del territorio ecuatoriano. Asimismo, se ha considerado el Código Eléctrico Ecuatoriano (CEE), que complementa y detalla aspectos técnicos específicos relacionados con instalaciones eléctricas en edificaciones, incluyendo criterios para la protección de personas y equipos frente a fallas eléctricas.



Tabla 3

Cumplimiento de Normativas Técnicas Aplicables al Sistema de Puesta a Tierra Propuesto

| Normativa | Requisito Principal | Cumplimiento en el Estudio | ✓ / ✗ |
|---|---|--|-------|
| IEEE Std 80-2013 | Cálculo de resistencia de puesta a tierra con fórmulas técnicas (malla + varillas) | Se aplicaron fórmulas de malla rectangular y resistividad del suelo | ✓ |
| | Límites de tensión de paso y contacto | Se consideraron fórmulas para voltaje de paso y contacto (p. 36) | ✓ |
| | Diseño de mallas con criterios geométricos y eléctricos | Malla rectangular de 6 × 4 m con 6 varillas verticales | ✓ |
| RETIE (2021) | Resistencia máxima del sistema ≤ 5 ohmios | El diseño busca alcanzar $R < 5 \Omega$, valor de diseño alcanzado: 1,67 Ω | ✓ |
| | Conexiones confiables y materiales certificados (cobre, acero cobreado) | Se propone cobre comercial como conductor (Tabla 5, p. 32) | ✓ |
| | Pruebas con telurómetro y mantenimiento periódico | Se plantea monitoreo y mantenimiento continuo | ✓ |
| INEN 255 | Métodos de medición de resistencia a tierra (telurómetro, método de caída de potencial, etc.) | Se utiliza el método del 62 % y telurómetro AEMC | ✓ |
| INEN 2810 | Resistencia recomendada en instalaciones críticas ≤ 5 ohmios | El diseño cumple con este límite (< 5 Ω) | ✓ |
| Reglamento Nacional de Electricidad (RNE) | Todo sistema eléctrico debe incluir una puesta a tierra funcional | El estudio parte del hecho de que no existe sistema y lo diseña completo | ✓ |
| | Registro técnico del sistema y cumplimiento de normativas | Se incluyen tablas de cálculo, planos e interpretación normativa | ✓ |
| Código Eléctrico Ecuatoriano (CEE) | Conexión a tierra obligatoria de equipos, estructuras y sistemas | El diseño considera puesta a tierra de toda la instalación del Instituto | ✓ |
| | Conductores y electrodos según especificaciones | Se emplean materiales aceptados por norma (cobre comercial) | ✓ |
| | Accesibilidad al sistema para inspección | Se contempla instalación de cajas y monitoreo preventivo | ✓ |

Nota. Elaboración propia con base en IEEE Std 80 (2013), RETIE (2021), INEN 255, INEN 2810, CEE (2021) y RNE (2022).

Fuente: (Autoría Propia, 2025).

En la tabla 5 a continuación se referencian los parámetros establecidos en las normativas técnicas correspondientes, los cuales constituyen la base para el cálculo y diseño adecuado de un sistema de puesta a tierra. Estas normativas, como la INEN 255, INEN 2810, el Reglamento Nacional de Electricidad y la IEEE Std 80, proporcionan criterios técnicos homologados que garantizan la seguridad y funcionalidad del sistema bajo condiciones

normales y de falla. Entre los parámetros más relevantes que deben considerarse en este tipo de estudios se incluyen la resistividad del terreno, la corriente máxima de falla esperada, el valor de resistencia total del sistema de puesta a tierra, y los límites de voltaje de paso y de contacto permitidos.

Tabla 4

Tabla de Datos de Puesta a Tierra y Parámetros Eléctricos

| Tipo de Conductor => | Cobre Comercial |
|------------------------------------|-----------------|
| Conductividad del Conductor | 97% |
| Temperatura de Fusión | 1084 °C |
| Profundidad de la Capa Superficial | 0,15 m |
| Profundidad de la Malla | 0,60 m |

Nota. Registro de los valores del tipo de conductor, según la INEN 255, INEN 2810, el Reglamento Nacional de Electricidad y la IEEE Std 80.

Fuente: (Autoría Propia, 2025).

Cálculo para el Diseño del Sistema Puesta a Tierra

Para esta fase del diseño, se seleccionó el sistema de mallado rectangular como la configuración más adecuada de puesta a tierra para la institución. Este tipo de sistema permite una distribución uniforme de la corriente de falla, lo cual es esencial para minimizar los gradientes de potencial peligrosos, especialmente los voltajes de paso y de contacto, que representan un riesgo para la seguridad de las personas. Además, el mallado rectangular facilita su instalación en edificaciones donde predominan formas geométricas regulares, como patios o áreas técnicas con planta cuadrada o rectangular, sin la necesidad de realizar intervenciones estructurales significativas.

Una vez definido el tipo de sistema, se procedió al cálculo de los parámetros eléctricos fundamentales, con especial atención a la resistencia total de puesta a tierra, la cual fue comparada en la tabla 3 con los valores de referencia establecidos en normativas técnicas como la INEN 255, INEN 2810 y la IEEE Std 80. El objetivo fue asegurar que dicho valor se mantenga por debajo de los límites permitidos para instalaciones educativas, garantizando



así la seguridad de estudiantes, personal docente y administrativo frente a posibles fallas eléctricas.

La Tabla 6 presenta los criterios técnicos fundamentales considerados para el diseño del sistema de puesta a tierra, los cuales fueron definidos en función de las condiciones del terreno y de los requerimientos normativos vigentes. Como punto de partida para este análisis, se utilizó el valor de resistividad del suelo obtenido previamente y registrado en la Tabla 2, que corresponde a 17,43 ohm-m. Este parámetro es importante en el proceso de diseño, ya que la resistividad del suelo determina la capacidad del terreno para disipar la corriente eléctrica hacia el subsuelo en caso de fallas, descargas atmosféricas o perturbaciones del sistema eléctrico.

Tabla 5

Tabla de Datos para el Cálculo de Valores para la Malla del Sistema Puesta a Tierra

| Criterios | Simbología | Resultados |
|--------------------------|------------|----------------------------|
| Resistividad del Suelo | Ohm/m | 17,43 Ohm/m (Ref. Tabla 2) |
| Resistividad Superficial | Ohm/ | 3000 Ohm/ |
| Largo de la Malla | (X) | 6 m |
| Ancho de la Malla | (Y) | 4 m |
| Área | A | 24 m ² |
| Cantidad de Varillas | | 6 |

Nota. Tabla de datos para cálculos de valores para la malla del sistema puesta a tierra.

Fuente. (Autoría Propia, 2025).

En cuanto a las dimensiones físicas de la malla, se estableció un largo de 6 metros (X) y un ancho de 4 metros (Y), lo que da como resultado un área total de 24 m². Estas dimensiones permiten distribuir uniformemente el potencial eléctrico y asegurar una buena disipación de la corriente en caso de fallas.

Finalmente, se ha considerado la instalación de 6 varillas verticales como complemento al mallado horizontal. Estas varillas refuerzan la capacidad de disipación del sistema de puesta a tierra, lo cual es especialmente importante en suelos con alta resistividad superficial. De acuerdo con la norma INEN 2810, la resistencia máxima permitida para sistemas de puesta



a tierra en instalaciones críticas (como instituciones educativas) es de $\leq 5 \Omega$, mientras que la norma INEN 255 establece límites de hasta 25Ω en sistemas básicos de protección. En este estudio, el sistema ha sido diseñado para mantenerse por debajo del valor más exigente (5Ω), garantizando la eficacia del sistema según los valores establecidos por la normativa vigente. Partiendo de los criterios establecidos anteriormente y con base en los datos obtenidos, se procedió a aplicar las fórmulas y métodos definidos en normativas técnicas, como la IEEE Std 80, para el cálculo detallado de los elementos que componen el sistema de puesta a tierra. Esto incluyó la determinación de la geometría de la malla, la longitud de los conductores horizontales y verticales, la longitud total del sistema, así como la resistencia y la corriente de falla que debe disipar. obteniendo los siguientes resultados:

- Cálculo del área de la geometría de la malla:

$$A = X * Y = 6m * 4m = 24 m^2$$

- Cálculo del conductor vertical

$$\frac{1 + X}{EX} = \frac{1 + 6m}{3} = \frac{7}{3} = 2,33m$$

- Cálculo del conductor horizontal

$$\frac{1 + Y}{EY} = \frac{1 + 4m}{1.5} = \frac{7}{1.5} = 4,67m$$

- Cálculo de la longitud total de la malla:

$$LC = H * X + CV * Y = (3.33 * 6m) + (2.33 * 4m) = 31.98m$$

$$L total = LC + Cant.Varillas * Lrr = 31.98m + 6 * 2.4 = 46.38m$$

- Cálculo de la resistencia de la malla:

$$Rg = \frac{P}{4 * L total} = \frac{1.78}{4 * 46.38} = 0.0095 \Omega$$

- Cálculo de la corriente de la malla:

$$Ig = K * I falla = 0.99 * 6690.00 = 6.62 K Amp$$



Resultados

Mediante el levantamiento de información inicial, el uso de fórmulas y la aplicación de métodos, se obtuvieron los resultados que se detallan en esta sección. Para el diseño del sistema de puesta a tierra se seleccionó la configuración de malla rectangular, este tipo de geometría no solo facilita el diseño y los cálculos matemáticos involucrados, sino que también ofrece una notable adaptabilidad al espacio físico disponible, lo cual es especialmente importante en edificaciones institucionales como los institutos, donde las áreas libres suelen estar limitadas a formas regulares, generalmente rectangulares o cuadradas. Esta característica permite instalar el sistema sin realizar modificaciones estructurales mayores, optimizando los recursos materiales.

Además, la distribución uniforme de los conductores en una malla rectangular permite que la corriente de falla se disipe de forma homogénea a través del terreno, lo que reduce significativamente los gradientes de potencial peligrosos, como el voltaje de paso y de contacto, protegiendo así la integridad física de las personas que interactúan con el entorno. Esta característica es crucial en ambientes educativos donde la exposición al riesgo debe minimizarse al máximo.

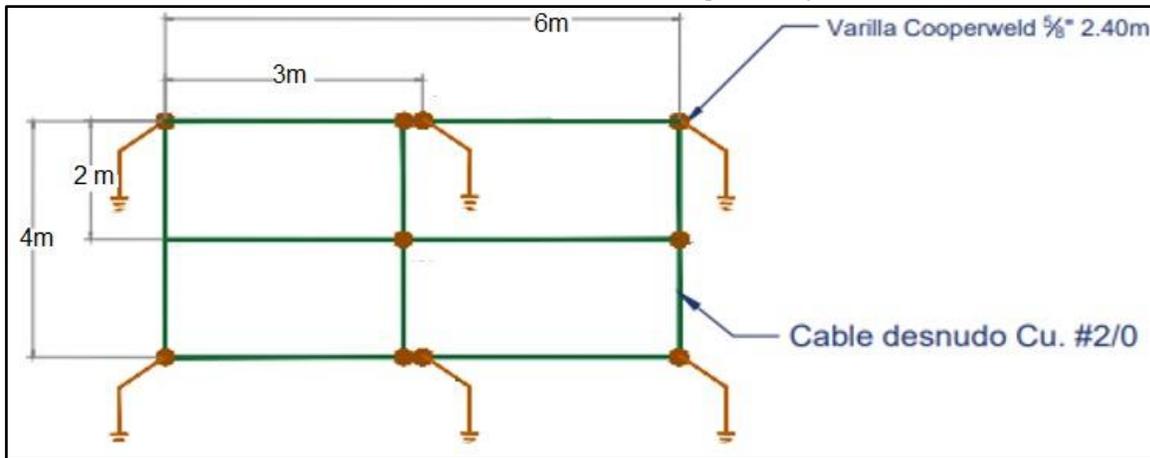
Descripción de la Muestra

Para el cálculo de la resistividad del suelo, se utilizó el método de Wenner, uno de los más reconocidos a nivel internacional por su eficacia y sencillez operativa. Este método fue elegido por su precisión, confiabilidad y facilidad de aplicación en campo, además de ser recomendado por normativas técnicas como la IEEE Std 81. La información obtenida mediante este método sirvió como base para diseñar un sistema eficiente, técnico y ajustado a las condiciones reales del terreno.

Figura 2

Diseño de la Malla Puesta a Tierra





Nota. Consiste en una red de conductores enterrados en forma rectangular. Su diseño busca garantizar una baja resistencia eléctrica y una distribución segura de las corrientes de falla al suelo.

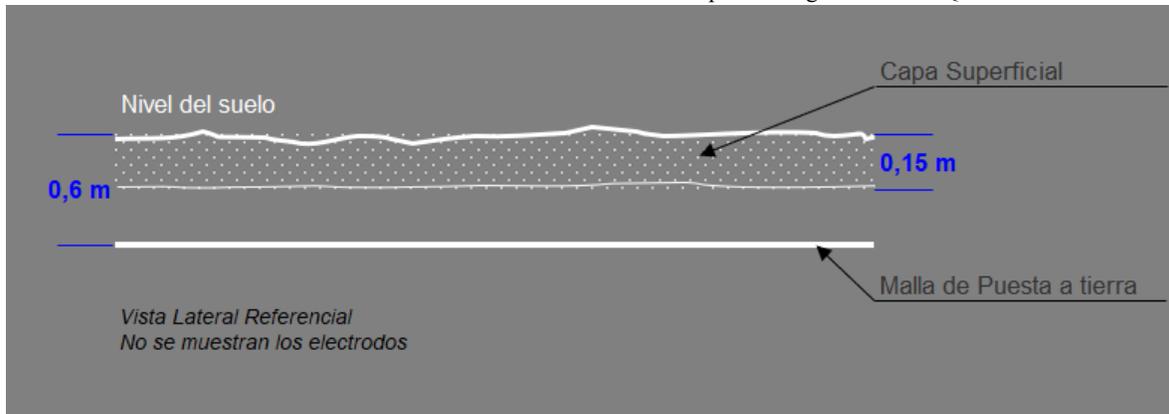
Fuente. (Autoría Propia, 2025).

El procedimiento se inició con el estudio del tipo de suelo y su resistencia, seguido de cálculos que permitieron determinar con exactitud la cantidad, ubicación, profundidad y distribución de los electrodos, asegurando una conexión a tierra efectiva y segura. Con estos resultados fue posible definir tanto la geometría como las dimensiones físicas de la malla, además de establecer la disposición de los conductores y electrodos que se deben implementar en el sistema de puesta a tierra.

Esta configuración se representa gráficamente en la figura 2, donde se muestra la estructura en planta de la malla. Esta consiste en una red de conductores enterrados dispuestos de forma rectangular, lo cual permite una distribución uniforme del potencial eléctrico y una disipación segura de las corrientes de falla hacia el suelo, cumpliendo con los estándares de seguridad eléctrica.

Figura 3

Vista Lateral Referencial del Conductor



Nota. Aspectos como su forma, posición en el terreno y posible profundidad de instalación.

Fuente: (Autoría Propia, 2025).

Por otro lado, la figura 3 presenta una vista lateral referencial del conductor, permitiendo visualizar su disposición dentro del terreno. Este esquema ilustra aspectos como la profundidad de instalación, la ubicación relativa de las varillas verticales respecto a los conductores horizontales, y otros elementos que garantizan un contacto adecuado con el suelo, contribuyendo a mantener una resistencia baja y eficaz en todo el sistema.

Análisis de los Resultados

Los resultados obtenidos del estudio evidencian una correcta aplicación de métodos técnicos y normativos para el diseño del sistema de puesta a tierra del Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez. El valor promedio de resistividad del suelo, de 17,43 ohm-m, indica que el terreno presenta condiciones adecuadas para la disipación de corriente eléctrica, lo que facilitó la selección de una malla de configuración rectangular complementada con seis varillas verticales, alineadas a las exigencias de normativas como la INEN 2810 e IEEE Std 80.

El cálculo de la resistencia total del sistema, arrojando un valor de 1,67 Ω , se encuentra significativamente por debajo del límite máximo permitido de 5 Ω para instalaciones críticas, según la normativa ecuatoriana. Este valor garantiza una conexión a tierra eficaz frente a

fallas eléctricas o descargas atmosféricas, minimizando los riesgos de electrocución y daños a equipos.

Además, la elección de un sistema mallado rectangular responde tanto a criterios técnicos como espaciales, ya que permite una instalación funcional en áreas con geometría regular sin necesidad de alterar la infraestructura existente. Esta disposición favorece una distribución homogénea de los potenciales eléctricos, reduciendo los voltajes de paso y contacto, y contribuyendo así a la seguridad de los usuarios.

Finalmente, los cálculos relacionados con la longitud total del sistema (46,38 m) y la corriente de falla (5,70 kA) confirman que el diseño cumple con los requerimientos para una operación segura, eficiente y normativamente válida. En conjunto, los resultados sustentan la viabilidad técnica de implementar el sistema propuesto en el Instituto.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio reafirman la importancia de contar con un sistema de puesta a tierra correctamente diseñado y adaptado a las condiciones del terreno, especialmente en instituciones educativas. La ausencia de un sistema documentado y medido previamente, tal como se evidenció en el Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, representa un riesgo significativo tanto para las personas como para los equipos eléctricos (Kundu et al., 2025).

La medición de resistividad mediante el método Wenner permitió una caracterización confiable del terreno, obteniéndose un valor promedio de 17,43 $\Omega \cdot m$. Este dato fue importante para definir los parámetros de diseño del sistema. De acuerdo con IEEE Std 80-2013, una adecuada estimación de la resistividad es el primer paso para garantizar una resistencia de puesta a tierra inferior a los límites normativos, minimizando así el riesgo de tensiones de paso y contacto peligrosas (IEEE Power and Energy Society, 2013).

Asimismo, autores como (Gutiérrez y Becerra, 2019) destacan que los sistemas de mallado rectangular son altamente eficientes en espacios institucionales debido a su facilidad de instalación, distribución uniforme del potencial y capacidad de adaptación al entorno estructural. En este estudio, el mallado de 6x4 m² con seis varillas verticales reforzó esa

efectividad, logrando una resistencia del sistema de 1,67 ohmios, dentro del límite aceptable ($<5 \Omega$) según el RETIE (ICONTEC, 2021).

Por otro lado, (Bialek et al., 2020) subrayan que un diseño debe considerar no solo los parámetros físicos del terreno y las normativas, sino también la proyección de mantenimiento continuo. En este trabajo se plantea un plan de monitoreo y mantenimiento, que coincide con las recomendaciones de estos autores y de la (NFPA, 2020), donde se establece que la integridad del sistema de tierra debe verificarse periódicamente para evitar fallos peligrosos a futuro.

Como conclusión, la combinación de técnicas de medición normadas, el uso de simulación para validar el diseño y el enfoque preventivo posicionan a este trabajo como una guía práctica y replicable. Además, el estudio muestra que una puesta a tierra eficiente no solo cumple una función técnica, sino que se convierte en un pilar esencial para la seguridad institucional, tal como lo afirman (Hernández et al., 2022) al evaluar el impacto de estos sistemas en centros educativos latinoamericanos.

Conclusiones

El trabajo permitió diseñar un sistema de puesta a tierra eficiente y conforme con las normativas nacionales e internacionales, específicamente adaptado a las necesidades del Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, ubicado en Manta. Este diseño garantiza la protección de las personas y de los equipos eléctricos frente a posibles fallas eléctricas o descargas atmosféricas, cumpliendo con el objetivo general planteado.

Se logró levantar la información necesaria para el diagnóstico inicial, donde se verificó la ausencia de un sistema formalmente documentado, lo que representaba un riesgo potencial. A través de las mediciones con el Telurómetro se identificaron las condiciones del suelo mediante el método Wenner, determinando una resistividad promedio de $17,43 \Omega \cdot m$.

El estudio permitió establecer los parámetros de diseño basados en normativas como el RETIE, el Código Eléctrico Ecuatoriano y la IEEE Std 80. De esta manera, se garantizó que cada componente del sistema cumpla con los criterios técnicos exigidos a nivel nacional e internacional.

En la sección de resultados se logró proponer el diseño técnico del sistema de puesta a tierra acorde a las necesidades del instituto. Este diseño considera tanto las condiciones reales del terreno como los requerimientos eléctricos específicos de las instalaciones evaluadas. La malla propuesta tiene una geometría rectangular de 6 metros de largo por 4 metros de ancho, con un área total de 24 m² y seis varillas verticales distribuidas de la mejor manera para garantizar una resistencia adecuada.

Se establecieron recomendaciones precisas para la correcta instalación del sistema de puesta a tierra propuesto, considerando materiales adecuados y mantenimiento preventivo para asegurar que el sistema trabaje correctamente

Referencias bibliográficas

- AEMC. (2025). Probador de resistencia. <https://www.aemc.com/products/ground-testers/ground-tester-4620>
- ARCSA. (2021). Código Eléctrico Ecuatoriano (CEE). <https://www.arcsa.gob.ec>
- ARMOTEC. (2023). Telurómetro. <https://armotec.pe/blog/teluometro-que-es-y-como-funciona/>
- ASPREL. (2024). Medición de la resistividad del terreno. <https://asprel.es/otros-servicios/medicion-de-la-resistividad-del-terreno/>
- Bialek, J., Nespoli, L., y Kedra, W. (2020). Grounding systems design and maintenance in educational facilities. *Journal of Electrical Safety and Infrastructure*, 14(2), 45-52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.elecsaf.2020.03.004>
- Guel, M. (2021). Reconfiguración del sistema de puesta a tierra del edificio de carrera de electricidad. Universidad Técnica del Norte. <https://doi.org/http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11565>
- Gutiérrez, A., y Becerra, M. (2019). Diseño de sistemas de puesta a tierra en edificaciones institucionales. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Eléctrica*, 15(1), 33-48.
- Hernández, M., Rodríguez, D., y Luján, S. (2022). Análisis del impacto de sistemas de puesta a tierra en centros educativos de Latinoamérica. *Ingeniería y Sociedad*, 19(3), 60-71. https://revistas.unal.edu.co/index.php/inge_sociedad/article/view/101122



- ICONTEC. (2021). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas: <https://www.minminas.gov.co/>
- IEEE Power and Energy Society. (2013). IEEE Std 80-2013: IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- IEEE. (s.f.). Std 80-2000: IEEE guide for safety in AC substation grounding. <https://standards.ieee.org/ieee/80/225/>
- INGELCOM. (2025). Multímetro para Técnico Electricista. <https://www.ingelcom.com.ec/shop/multimetro-fluke-115-ingelcom-17512#attr=>
- KPN Safety. (04 de 03 de 2022). Equipos de protección personal para seguridad eléctrica. <https://www.kpnsafety.com/epp-para-seguridad-electrica/>
- Kundu, S., Debnath, R., y Dey, A. (2025). Mejora de la comprensión del comportamiento eléctrico del suelo: análisis multivariable y modelado de correlación. *Acta Geophys*, 2635–2656. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11600-025-01532-6>
- MERNNR. (2022). Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables de Ecuador. Reglamento Nacional de Electricidad (RNE): <https://www.energia.gob.ec>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (02 de 2018). Norma Ecuatoriana de Construcción / Instalaciones Eléctricas. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SB-Instalaciones-Eléctricas.pdf>
- Moreno, J., Pascual, S., Eudardo, F., García, D., Denche, G., y Asensio, G. (2024). Un procedimiento sencillo para obtener la medición de la resistencia de puesta a tierra de electrodos muy grandes y urbanos mediante un método de caída de potencial modificado. *Applied Sciences*, 14(17), 8040. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app14178040>
- NFPA. (2020). National Fire Protection Association 70: National Electrical Code (NEC). <https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-70-standard-development/70>
- Promelsa. (25 de 09 de 2024). Mantenimiento de sistema puesta a tierra. https://www.promelsa.com.pe/blog/post/como-realizar-mantenimiento-puesta-tierra.html?srsId=AfmBOoo-2kbltvhtSQkA6VLexNMbmoWKXNEqqKtxHGAAoKLZekCCh_iHz



Republica del Ecuador. (21 de 05 de 2018). Ley Orgánica del Servicio Público de Energía. <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2019/03/LEY-DE-ELECRICIDAD.pdf>

Tapia, C. (2025). Procedimiento Seguro para la Medición de la Resistencia del Sistema de Puesta a Tierra.

TECSA. (20 de 02 de 2020). Multímetro. <https://www.tecsaqro.com.mx/blog/que-es-un-multimetro/>

Teluometro. (2019). Metodo de Wenner. <https://teluometro.com/metodo-wenner/>



Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

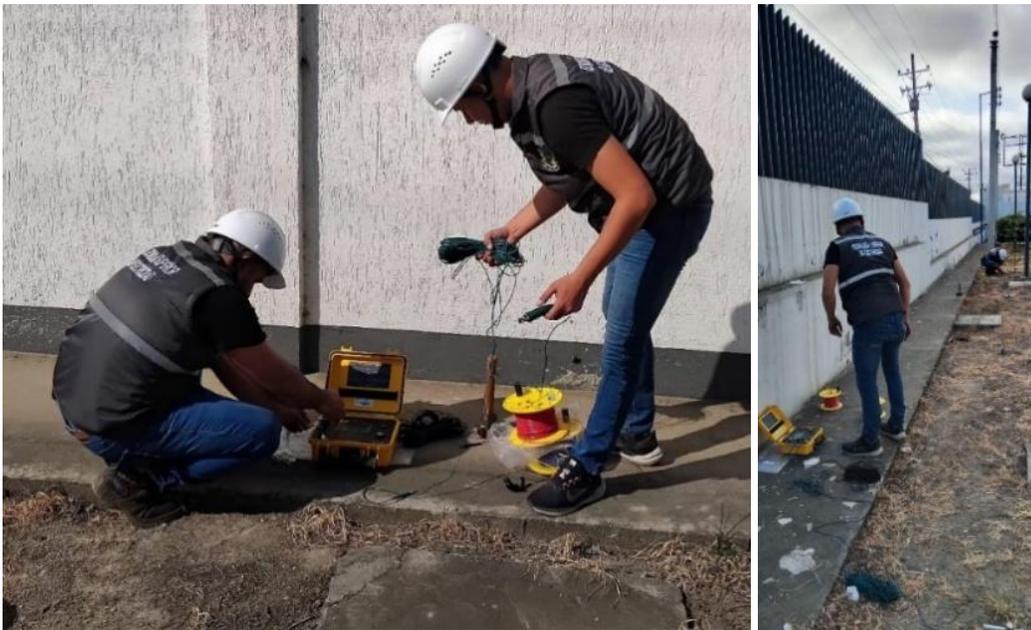
N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

Anexos

Anexo 1. Mediciones con el Telurómetro, de 1 a 4 metros.



Anexo 2. Mediciones con el Telurómetro, de 6 a 10 metros.



Anexo 3. Resultado del Telurómetro en una de las Mediciones.



Anexo 4. Ficha Técnica del Telurómetro Utilizado en el Estudio.

MEDIDORES DE RESISTENCIA DE TIERRA

Medidor digital

Modelos 4620 y 4630

Ambos modelos realizan más de 2000 mediciones de 15 segundos antes de recargar o reemplazar la batería

► ESPECIFICACIONES

| MODELOS | 4620 | 4630 | |
|---------------------------------------|--|---|------------------------------|
| CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS | | | |
| Rango | 20 Ω | 200 Ω | 2000 Ω |
| Rango de medición | 0,00 a 19,99 Ω | 20,0 a 199,9 Ω | 200 a 1999 Ω |
| Resolución | 10 mΩ | 100 mΩ | 1 Ω |
| Tensión a circuito abierto | ≤42 V pico | ≤42 V pico | ≤42 V pico |
| Frecuencia de medición de resistencia | Onda cuadrada de 128 Hz | Onda cuadrada de 128 Hz | Onda cuadrada de 128 Hz |
| Corriente de prueba | 10 mA | 1 mA | 0,1 mA |
| Precisión de la lectura (%) | 2% de la lectura ± 1 cuenta | 2% de la lectura ± 1 cuenta | 5% de la lectura ± 3 cuentas |
| Influencia de electrodo auxiliar | Res. máx. en circuito de corriente 50 kΩ | 30 kΩ 50 kΩ | 50 kΩ 50 kΩ |
| Tiempo de respuesta | Aproximadamente cuatro a ocho segundos para una medición estabilizada | | |
| Tensión no disruptiva | 250 Vca ó 100 Vcc | | |
| Fuente de alimentación | Ocho baterías C (incluidas); se recomiendan alcalinas | Conjunto de baterías de NiMH de 3,5 Ah, 9,6 V, recargables, 120/230 V 50/60 Hz (incluido) | |
| Autonomía de la batería | >2000 mediciones de 15 segundos; indicación de batería con baja carga en la pantalla LCD | | |
| Protección por fusible | Capacidad de corte: 0,1 A, >250 V, 0,25 x 1,25 pulg.; 30 kA | | |



► CARACTERÍSTICAS

- Mide la resistividad del suelo (4 puntos)
- Mide la resistencia de tierra (2 y 3 puntos) (método de la caída de potencial)
- Mediciones de tensión de paso y de potencia de contacto
- Conmutación automática de escalas: selecciona automáticamente el rango óptimo de resistencia y la corriente de prueba
- Diseñado para rechazar altos niveles de ruido e interferencia
- Funcionamiento extremadamente sencillo: conectar - presionar - retener - leer
- La pantalla LED de la placa frontal informa al usuario de problemas tales como alto ruido de entrada, alta resistencia de la pica auxiliar y conexiones defectuosas
- Pantalla retroiluminada grande y fácil de leer
- Alimentación por batería (modelo 4620)
- Conjunto de baterías de NiMH recargables accionado por CA (modelo 4630)
- Estuche resistente a polvo y lluvia
- Se puede utilizar también en pruebas de continuidad de conexiones
- Terminales identificados por colores

► INCLUYE

Pendrivo USB suministrado con el libro de trabajo del medidor de tierra y manual del usuario.



Kit 4630 – 150 m (500 pies)