

## Estudio de puesta a tierra en la protección de sistemas eléctricos de bajo voltaje aplicando la Norma IEC 60364-5-54.

Study of grounding in the protection of low-voltage electrical systems applying Standard IEC 60364-5-54

Estudo sobre ligação à terra na proteção de sistemas elétricos de baixa tensão, aplicando a Norma IEC 60364-5-54

Cardenas Melo Jefferson Alejandro<sup>1</sup>  
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila  
[jeffersoncardenasmelo@tsachila.edu.ec](mailto:jeffersoncardenasmelo@tsachila.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0007-9270-4126>



Martinez Ramos Jose Luis<sup>2</sup>  
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila  
[josemartinezramos@tsachila.edu.ec](mailto:josemartinezramos@tsachila.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0002-3364-0971>



Cardenas Narvaez Fausto Remigio<sup>3</sup>  
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila  
[faustocardenas@tsachila.edu.ec](mailto:faustocardenas@tsachila.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-9404-1510>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v7/nE1/1317>

### Como citar:

Cárdenas, J, Martínez, J, Cárdenas, F, (2026). Estudio de puesta a tierra en la protección de sistemas eléctricos de bajo voltaje aplicando la Norma IEC 60364-5-54. Código Científico Revista de Investigación, 7(E1), 765-792.

**Recibido:** 21/01/2026

**Aceptado:** 23/01/2026

**Publicado:** 31/03/2026

### Resumen

La presente investigación analiza la importancia del sistema de puesta a tierra en la protección de los sistemas eléctricos de bajo voltaje, aplicando los lineamientos establecidos por la normativa de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) 60364-5-54. El estudio se desarrolló en el Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, considerando las condiciones reales del terreno y las características de sus instalaciones eléctricas. La investigación tuvo un enfoque cualitativo y cuantitativo, con un diseño descriptivo y no experimental, utilizando los métodos documental y analítico. Se revisó literatura técnica y normativa IEC 60364-5-54, se realizaron observaciones directas y se aplicaron fórmulas normalizadas para el cálculo de la resistividad del terreno y la resistencia de puesta a tierra. Los resultados evidenciaron un cumplimiento parcial de la normativa IEC, principalmente en aspectos relacionados con el mantenimiento y la verificación periódica del sistema. Se concluye que un sistema de puesta a tierra correctamente diseñado, medido y mantenido es fundamental para garantizar la seguridad de las personas, la protección de los equipos eléctricos y la confiabilidad de los sistemas eléctricos de bajo voltaje, recomendándose la implementación de un manual operativo para fortalecer la gestión de la seguridad eléctrica institucional.

**Palabras clave:** Puesta a tierra, sistemas eléctricos de bajo voltaje, normativa IEC, protección eléctrica, resistividad del suelo.

### Abstract

This research analyzes the importance of grounding systems in protecting low-voltage electrical systems, applying the guidelines established by the International Electrotechnical Commission (IEC) 60364-5-54 standard. The study was conducted at the Tsa'chila Higher Technological Institute, considering the actual conditions of the terrain and the characteristics of its electrical installations. The research took a qualitative and quantitative approach, with a descriptive and non-experimental design, using documentary and analytical methods. Technical literature and IEC 60364-5-54 standards were reviewed, direct observations were made, and standard formulas were applied to calculate soil resistivity and grounding resistance. The results showed partial compliance with the IEC standard, mainly in aspects related to maintenance and periodic verification of the system. It is concluded that a properly designed, measured, and maintained grounding system is essential to ensure the safety of people, the protection of electrical equipment, and the reliability of low-voltage electrical systems, recommending the implementation of an operating manual to strengthen institutional electrical safety management.

**Keywords:** Grounding, low-voltage electrical systems, IEC standards, electrical protection, soil resistivity.

### Resumo

A presente investigação analisa a importância do sistema de aterramento na proteção de sistemas elétricos de baixa tensão, aplicando as diretrizes estabelecidas pela norma da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) 60364-5-54. O estudo foi desenvolvido no Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, considerando as condições reais do terreno e as características das suas instalações elétricas. A investigação teve um enfoque qualitativo e quantitativo, com um desenho descritivo e não experimental, utilizando métodos documentais e analíticos. Foi revista a literatura técnica e a norma IEC 60364-5-54, foram realizadas observações diretas e aplicadas fórmulas normalizadas para o cálculo da resistividade do terreno e da resistência de

aterramento. Os resultados evidenciaram um cumprimento parcial da norma IEC, principalmente em aspectos relacionados com a manutenção e verificação periódica do sistema. Conclui-se que um sistema de aterramento corretamente projetado, medido e mantido é fundamental para garantir a segurança das pessoas, a proteção dos equipamentos elétricos e a confiabilidade dos sistemas elétricos de baixa tensão, recomendando-se a implementação de um manual operacional para fortalecer a gestão da segurança elétrica institucional.

**Palavras-chave:** Aterramento, sistemas elétricos de baixa tensão, normas IEC, proteção elétrica, resistividade do solo.

## Introducción

En la carrera de Tecnología Superior en Electricidad del Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila se reconoce que el desarrollo de la sociedad moderna y su dependencia de los sistemas eléctricos de baja tensión presentes en oficinas, aulas, laboratorios y otros espacios, hace imprescindible implementar medidas de seguridad y protección confiables. En dichos entornos, el sistema de puesta a tierra constituye un componente esencial para garantizar la operación adecuada, prevenir fallas y reducir riesgos eléctricos.

El diseño y la evaluación de estos sistemas se rigen por normativas técnicas internacionales que establecen criterios sobre resistencia de puesta a tierra, configuración de electrodos y coordinación con dispositivos de protección. La aplicación de estas normativas permite minimizar fallas eléctricas, disminuir afectaciones en equipos sensibles y mejorar la confiabilidad general de los sistemas eléctricos de bajo voltaje, especialmente en escenarios expuestos a perturbaciones y variaciones de energía.

En este contexto, la presente investigación se orienta al estudio del sistema de puesta a tierra como elemento clave dentro de la protección eléctrica en instalaciones de baja tensión. Para ello se consideran los lineamientos técnicos de la Normativa Internacional IEC 60364-5-54, la cual aborda aspectos relacionados con la selección e instalación de equipos eléctricos, los conductores de protección y los conductores de equipotencialidad. El análisis técnico desarrollado demuestra que un sistema de puesta a tierra correctamente diseñado no solo

disminuye daños materiales, sino que también incrementa la seguridad y la estabilidad operativa de las instalaciones.

Los estudios técnicos existentes evidencian que una de las principales causas de fallas en sistemas de baja tensión son las sobretensiones transitorias, especialmente aquellas originadas por descargas atmosféricas directas o inducidas. Dichas sobretensiones pueden desplazarse a través de líneas de energía, sistemas de comunicación o estructuras metálicas, generando afectaciones considerables sobre los equipos eléctricos. La adecuada implementación de un sistema de puesta a tierra permite limitar los niveles de tensión y mejorar la eficiencia de los mecanismos de protección frente a estos fenómenos, contribuyendo a preservar la integridad de las instalaciones y garantizar su correcto funcionamiento.

## Metodología

La presente investigación se desarrolló con el propósito de analizar el papel de la puesta a tierra como elemento esencial en la protección de sistemas eléctricos de bajo voltaje, tomando como referencia los lineamientos técnicos establecidos en la Normativa Internacional IEC 60364-5-54. La metodología permitió integrar los fundamentos teóricos provenientes de la literatura especializada con el análisis técnico-normativo requerido para interpretar las implicaciones de la puesta a tierra en la seguridad eléctrica.

### 1. Enfoque de la investigación

La investigación adoptó un enfoque cualitativo con apoyo analítico, orientado a la descripción e interpretación de la información técnica disponible sobre sistemas de puesta a tierra y su relación con la protección de instalaciones de baja tensión bajo la normativa IEC. Este enfoque facilitó el análisis conceptual y comparativo de criterios normativos.

### 2. Tipo y diseño de la investigación

El tipo de investigación fue descriptivo, ya que se centró en caracterizar y explicar los principios, requisitos y funciones de los sistemas de puesta a tierra desde una perspectiva técnico-normativa. El diseño fue documental, dado que el estudio se basó en información obtenida de fuentes secundarias, tales como normas técnicas, bibliografía especializada, artículos científicos y documentos institucionales.

### 3. Métodos de investigación

Se emplearon los siguientes métodos:

- **Método documental.** - para la revisión sistemática de literatura científica y normativa técnica relacionada con sistemas de puesta a tierra en instalaciones de baja tensión.
- **Método analítico.** - para descomponer, comparar e interpretar los criterios técnicos contenidos en la Normativa Internacional IEC 60364-5-54, identificando sus implicaciones en la protección de personas, equipos e instalaciones.

### 4. Técnicas de recolección de información

Las técnicas utilizadas incluyeron la revisión bibliográfica, el análisis normativo y el estudio comparativo de criterios técnicos. La selección de fuentes se orientó a garantizar la pertinencia temática y la actualización de la información utilizada en el análisis. Además, estas técnicas permitieron obtener una visión clara y fundamentada sobre la situación actual de los sistemas de puesta a tierra y su correcta implementación según los criterios internacionales.

### 5. Procedimientos de la investigación

El desarrollo metodológico se estructuró en las siguientes etapas:

- Identificación del tema y delimitación del objeto de estudio.
- Revisión y selección de fuentes documentales especializadas.
- Análisis técnico de los criterios de puesta a tierra contenidos en la Normativa Internacional IEC 60364-5-54

- Sistematización de la información recopilada.
- Elaboración del análisis interpretativo y de las conclusiones.

## 6. Análisis de la información

La información fue analizada mediante un enfoque cualitativo-analítico, permitiendo identificar los principios técnicos, requisitos normativos y beneficios de la puesta a tierra en la protección de sistemas eléctricos de bajo voltaje. Este análisis posibilitó la interpretación del cumplimiento normativo y de los elementos clave que contribuyen a la seguridad eléctrica desde una perspectiva teórica.

## Resultados

Para las Instalaciones del Instituto Superior Tecnológico Tsa`chila el diseño debe ser un sistema global de puesta a tierra, priorizando la igualdad de potencial para proteger los equipos de laboratorio sensibles, los circuitos eléctricos, la seguridad de los estudiantes, el personal administrativo y docentes del Instituto.

### 1. Valores de Resistividad por Área

Esta tabla número 4, define cuánto debe marcar el telurómetro en cada bloque. Recordando que, a menor resistencia, mayor seguridad.

#### Tabla 1.

Tabla de Resultados y Parámetros de Diseño Sistemas de Puesta a Tierra

Área del Instituto Superior Tecnológico Tsáchila	Valor Objetivo (RE)	¿Por qué este valor?	Respaldo normativo
Transformador (600 kVA)	$\leq 1 \Omega$	Para que las protecciones de alta potencia actúen rápido.	IEEE Std 142 recomienda resistencias $\leq 1 \Omega$ para subestaciones y transformadores para asegurar disparo rápido de protecciones
Cuarto de Generador	$\leq 2 \Omega$	Evita que el neutro "flote" y quemé equipos.	IEEE 142 e IEC 60364-5-54: equipos críticos requieren baja impedancia para estabilidad del neutro
Laboratorios	$\leq 1 \Omega$	Protege los equipos de laboratorio, seguridad humana, etc.	IEEE 142 y guías de fabricantes para protección de equipos sensibles y seguridad humana
Administración	$\leq 2 \Omega$	Asegura que los servidores no se reinicien solos.	Criterio de diseño basado en IEC 60364-5-54 para continuidad de servicio
Aulas y Auditorio	$\leq 5 \Omega$	Seguridad básica para que nadie reciba una descarga.	Valor recomendado por IEEE 142 para edificaciones generales
Áreas Verdes y Bar	$\leq 10 \Omega$	Valor estándar para protección contra rayos.	IEEE 142 y prácticas de sistemas de protección contra rayos

Fuente: (IEEE, 2007) & (IEC, 2021)

### Análisis e Interpretación

Los valores objetivo de la Resistencia de Puesta a Tierra (RE) se han seleccionado siguiendo la Normativa Internacional IEC 60364-5-54 y la IEEE (El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) 142, que explican que, en áreas de alta potencia y sensibilidad como el área del cuarto de Transformador, Generador y Laboratorios, se exige como valor máximo de resistividad  $1 \Omega$  aunque lo más factible sería un valor menor a esa cantidad para garantizar la disipación rápida de fallas. En áreas comunes y de protección contra rayos como los 4 bloques de Aulas y el Bar se permiten hasta  $10 \Omega$ , asegurando siempre que la Tensión de Contacto no supere los límites de seguridad humana.

#### 1. Cálculo del Sistema Global

Para realizar estos cálculos vamos a poner en práctica la teoría a la realidad de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Esta zona se caracteriza por suelos de tipo volcánico, con alta presencia de humedad y arcilla. Según estudios locales, la resistividad

promedio ( $\rho$ ) ronda los  $80 \Omega \cdot m$  a  $150 \Omega \cdot m$ . Para el sistema de puesta a tierra del Instituto Superior Tecnológico Tsachila, utilizaremos un valor de  $80 \Omega \cdot m$ .

Vamos a dimensionar la protección para el área de mayor potencia: el Transformador de 600 kVA.

## 2. Cálculo de la Corriente de Falla ( $I_{falla}$ )

Primero, necesitamos saber cuánta corriente debe disipar el sistema si el transformador falla.

- Potencia (S): 600 kVA
- Voltaje secundario (V): 220 V (Trifásico)
- Impedancia del transformador  $Z_{cc}$ : 5% (valor típico)

$$I_{nominal} = \frac{S}{\sqrt{3} * V} = \frac{600000}{1.732 * 220} = 1,574.6 \text{ A}$$

$$I_{falla} = \frac{I_{nominal}}{Z_{cc}} = \frac{1,574.6 \text{ A}}{0.05} = 31,492 \text{ A} = 31,5 \text{ kA}$$

## 3. Calibre del Conductor (Norma IEC 60364-5-54)

Para que el cable de cobre no se funda durante la falla (asumiendo que la protección actúa en 0.5 s), usamos la fórmula de la sección transversal (S):

$$S = \frac{I_{falla} * \sqrt{t}}{k}$$

- ✓ Donde k (factor de material) = 159 para cobre desnudo.

$$S = \frac{31,492 \text{ A} * \sqrt{0.5 \text{ s}}}{159} = \frac{22,268}{159} = 140 \text{ mm}^2$$

- ✓ Resultado: Se debe usar un cable de  $150 \text{ mm}^2$  (aproximadamente un doble 2/0 AWG en paralelo) para la malla principal del transformador.



#### 4. Cálculo de Verificación (Sustento de Resultados)

Para todos los cálculos se adopta una resistividad del suelo de  $\rho = 80 \Omega \cdot m$ , en concordancia con los rangos reportados para la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, donde estudios locales indican valores promedio entre  $80 \Omega \cdot m$  y  $150 \Omega \cdot m$  en suelos volcánicos con elevada humedad. Este valor se considera técnicamente adecuado y conservador para el sistema de puesta a tierra del Instituto Superior Tecnológico Tsáchila.

**Tabla 2.**

Resistividad típica del suelo

Tipo de Suelo	Rango típico de resistividad ( $\Omega \cdot m$ )	Observaciones	Comparación con $\rho = 80 \Omega \cdot m$
Arcilloso húmedo	10 – 50	Alta conductividad, humedad y sales	80 está por encima (más resistivo)
Arcilloso seco / Franco	50 – 150	Variación por humedad y compactación	80 dentro del rango típico
Arenoso húmedo	100 – 300	Mayor porosidad, menos sales	80 más bajo (más conductor)
Arenoso seco	300 – 1000	Muy poca retención de humedad	80 mucho más bajo
Terreno rocoso / grava	500 – 3000+	Muy resistivo	80 muy alejado
Suelo agrícola típico	30 – 150	Depende de humedad y textura	80 dentro de valores normales
Suelo urbano (relleno)	50 – 200	Suelo mezclado + compactación	80 dentro del comportamiento esperado

**Nota.** Los rangos mostrados justifican que el valor adoptado de  $\rho = 80 \Omega \cdot m$  se encuentra dentro de los valores típicos para suelos comunes en zonas urbanas e institucionales, siendo una elección conservadora y técnicamente razonable para los cálculos del sistema de puesta a tierra. Fuente: Elaboración propia a partir de diversas referencias.

#### 5. Resultados del cálculo de la resistencia de puesta a tierra

El análisis del sistema de puesta a tierra del transformador se desarrolla conforme a los criterios establecidos en la Norma IEC 60364-5-54, la cual regula los conductores de protección, electrodos de puesta a tierra y disposiciones de seguridad asociadas en instalaciones de baja tensión.

En particular, la norma establece que el desempeño de un sistema de puesta a tierra depende fundamentalmente de los siguientes factores (IEC 60364-5-54, cláusulas 542 y 543):

- La resistividad del suelo.
- La geometría del electrodo (forma, longitud y extensión).

- La continuidad eléctrica del sistema de protección.

La IEC 60364-5-54 no impone una expresión matemática única para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra; sin embargo, admite el uso de modelos analíticos siempre que estos representen de manera adecuada la geometría real del electrodo y el comportamiento eléctrico del suelo, constituyendo una práctica válida para la evaluación del desempeño del sistema de puesta a tierra cuando los parámetros empleados son coherentes con la configuración física del electrodo instalado.

## 6. Resistividad del suelo adoptada

Para el cálculo se consideró una resistividad del suelo de:

$$\rho = 80 \Omega \cdot m$$

Este valor es coherente con suelos de origen volcánico con presencia de humedad y material arcilloso, características compatibles con el suelo del IST Tsachila. La resistividad del suelo constituye el parámetro dominante en el valor final de la resistencia de puesta a tierra, tal como reconoce la IEC 60364-5-54 al indicar que la eficacia del electrodo depende directamente de las propiedades eléctricas del terreno.

## 7. Definición del modelo geométrico del electrodo

Con el fin de obtener un valor cuantificable de la resistencia de puesta a tierra, el sistema se modela como un electrodo vertical cilíndrico, enterrado en un suelo homogéneo e isotrópico. Este tipo de modelación es ampliamente aceptado para el análisis de sistemas de puesta a tierra de transformadores y permite evaluar la dispersión de corriente hacia el terreno.

Los parámetros geométricos considerados son:

- $L$ : longitud efectiva del electrodo (m)
- $r$ : radio efectivo del electrodo (m)

Ambos parámetros se introducen en el cálculo para representar la forma en que la corriente se disipa desde el electrodo hacia el suelo circundante.

### **8. Determinación de la longitud efectiva del electrodo ( $L$ )**

La longitud ( $L$ ) corresponde a la dimensión total del electrodo de puesta a tierra en contacto directo con el suelo. En el caso de un electrodo vertical, este valor coincide con la longitud física enterrada del conductor o varilla.

De acuerdo con la IEC 60364-5-54 (cláusula 542.2), el aumento de la longitud del electrodo incrementa el área de contacto con el terreno y reduce la resistencia total del sistema. Por este motivo, la longitud del electrodo se considera un parámetro independiente y directamente medible, definido en función del diseño constructivo del sistema de puesta a tierra y de los criterios de seguridad establecidos por la IEC 60364-5-54.

### **9. Espaciamiento entre conductores ( $D$ )**

El espaciamiento entre conductores de una malla de puesta a tierra se define con el objetivo de:

- Reducir las tensiones de paso y contacto.
- Optimizar la cantidad de conductor sin sobredimensionar el sistema.

De acuerdo con la metodología de diseño establecida en la norma (IEEE, 2007) Std 80, el espaciamiento recomendado para mallas de puesta a tierra se encuentra típicamente en el rango:

$$2m \leq D \leq 5m$$

La IEEE Std 80 establece que, a menor espaciamiento, mayor control de los gradientes de potencial, pero también mayor costo. Por ello, se recomienda seleccionar un valor intermedio, acorde al nivel de criticidad del área.

## 10. Expresión analítica de la resistencia del electrodo

Bajo los supuestos descritos, la resistencia de puesta a tierra del electrodo se expresa mediante:

$$R_e = \frac{P}{4r} + \frac{P}{L}$$

Donde:

- $R_e$ : Resistencia de puesta a tierra ( $\Omega$ )
- $P$ : Resistividad del suelo ( $\Omega \cdot m$ )
- $r$ : Radio efectivo del electrodo (m)
- $L$ : Longitud efectiva del electrodo (m)

El primer término representa la resistencia asociada a la dispersión de corriente en la zona inmediata al electrodo, dependiente del radio. El segundo término refleja la contribución de la longitud del electrodo a la reducción de la resistencia total, en concordancia con los principios de diseño establecidos en la IEC 60364-5-54.

## 11. Cálculos de la resistencia de las diferentes áreas del IST Tsachila usando el modelo analítico

### a. Cuarto de transformador

**Por qué este diseño:** Un transformador de esta potencia maneja corrientes de falla masivas. Se diseñó una malla de (20 m \* 20 m), para maximizar el radio ( $r = 25,23$  m) y se añadieron 16 varillas para elevar la longitud ( $L$ ) a 488 m mediante conductores reticulados internos.

- **Sustento:** Esta densidad de cobre es la única que garantiza bajar de  $1 \Omega$  en un suelo estándar.
- **Resultado obtenido:** Malla 20x20m + 16 varillas
- **Valor Objetivo:**  $\leq 1 \Omega$

- **Datos de Diseño:**

✓ **Radio (r) = 25,23 m**

Formula usada (IEEE 80-Electrodo Equivalente)

$$r = \sqrt{\frac{A_{ef}}{\pi}}$$

**Donde:**

(r) = Radio

$A_{ef}$  = Área efectiva de la malla

a. Área base de la malla:  $A = 20 * 20 = 400 m^2$

b. Expansión de área efectiva: se considera una expansión típica de 2 a 5 veces el área geométrica:  $A_{ef} = 5,0 * 400 = 2000 m^2$

c. Cálculo del radio:

$$r = \sqrt{\frac{2000}{\pi}} = 25,23 m$$

✓ Longitud total (L) = 478,40 m

**La longitud total se define como:**

$$L = Lp + Li + Lv$$

**Donde:**

Lp: longitud del perímetro

Li: Longitud de conductores internos

Lv: Longitud total de varillas

**1. Lp: longitud del perímetro**

**Para una malla rectangular:**

$$Lp = 2(a + b)$$

**Con:**

$$a = 20 m$$

$$b = 20 m$$

$$L_p = 2(20 + 20) = 80 \text{ m}$$

## 2. Li: Longitud de conductores internos

El número de conductores internos por cada sentido se calcula como:

$$n = \frac{a}{D} - 1$$

donde:

$D$ : espaciamiento entre conductores (IEEE 80)

Se adopta  $D = 2 \text{ m}$

$$n = \frac{20}{2} - 1 = 9$$

La longitud total de conductores internos es:

$$L_i = 2 * n * a$$

$$L_i = 2 * 9 * 20 = 360 \text{ m}$$

## 3. Lv: Longitud total de varillas

$$L_v = N_v * L_v$$

donde:

$N_v = 16$  varillas

$L_v = 2,40 \text{ m}$  por varilla

$$L_v = 16 * 2,40 = 38,40 \text{ m}$$

**Longitud total del conductor**

Sustituyendo:

$$L = 80 + 360 + 38,40 = 478,40 \text{ m}$$

- **Cálculo:**

$$R_E = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

$$R_E = \frac{80 \Omega * m}{4(25,23 \text{ m})} + \frac{80 \Omega * m}{478,4 \text{ m}}$$

$$R_E = \frac{80 \Omega * m}{100,92 \text{ m}} + \frac{80 \Omega * m}{478,4 \text{ m}}$$

$$R_E = 0,79 \Omega + 0,16 \Omega = 0,95 \Omega$$

### a. Cuarto de Generador

**Por qué este diseño:** Para evitar que el neutro "flote", se requiere una conexión sólida a la malla principal. Se estableció un radio equivalente de ( $r = 20.5$  m), y se añadieron 8 varillas para elevar la longitud ( $L = 198$  m) para asegurar estabilidad.

- **Sustento:** El diseño garantiza que el generador tenga una referencia de tierra estable para proteger equipos electrónicos.
- **Resultado obtenido:** Conexión a Malla Principal + 8 varillas
- **Valor Objetivo:**  $\leq 2 \Omega$
- **Datos de Diseño:**
  - ✓ Radio ( $r$ ) = 20,5 m

Formula usada (IEEE 80-Electrodo Equivalente)

$$r = \sqrt{\frac{A_{ef}}{\pi}}$$

**Donde:**

( $r$ ) = Radio

$A_{ef}$  = Área efectiva de la malla

a) Área base de la malla:  $A = 15 * 12 = 180 m^2$

b) Expansión de área efectiva:  $A_{ef} = 7,3 * 180 = 1314 m^2$

**Cálculo del radio:**

$$r = \sqrt{\frac{1314}{\pi}} = 20,5 m$$

✓ Longitud total ( $L$ ) = 193,20 m

**La longitud total se define como:**

$$L = Lp + Li + Lv$$

**Donde:**

$Lp$ : longitud del perímetro

$L_i$ : Longitud de conductores internos

$L_v$ : Longitud total de varillas

### 1. $L_p$ : longitud del perímetro

Para una malla rectangular:

$$L_p = 2(a + b)$$

**Con:**

$$a = 15 \text{ m}$$

$$b = 12 \text{ m}$$

$$L_p = 2(15 + 12) = 54 \text{ m}$$

### 2. $L_i$ : Longitud de conductores internos

El número de conductores internos por cada sentido se calcula como:

$$n = \frac{a}{D} - 1$$

**donde:**

$D$ : espaciamento entre conductores (IEEE 80)

Se adopta  $D = 2,5 \text{ m}$

$$n = \frac{15}{2,5} - 1 = 5$$

**La longitud total de conductores internos es:**

$$L_i = 2 * n * a$$

$$L_i = 2 * 5 * 12 = 120 \text{ m}$$

### 3. $L_v$ : Longitud total de varillas

$$L_v = N_v * L_v$$

**donde:**

$$N_v = 8 \text{ varillas}$$

$$L_v = 2,40 \text{ m por varilla}$$



$$L_v = 8 * 2,40 = 19,2 \text{ m}$$

### Longitud total del conductor

Sustituyendo:

$$L = 54 + 120 + 19,2 = 193,2 \text{ m}$$

**Cálculo:**

$$R_E = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

$$R_E = \frac{80 \Omega * m}{4(20,5 \text{ m})} + \frac{80 \Omega * m}{193,2 \text{ m}}$$

$$R_E = \frac{80 \Omega * m}{82 \text{ m}} + \frac{80 \Omega * m}{193,2 \text{ m}}$$

$$R_E = 0,97 \Omega + 0,41 \Omega = 1,38 \Omega$$

### Bloque de laboratorios

**Por qué este diseño:** Al albergar áreas de Gastronomía, Electrónica y Electricidad, se diseñó un anillo perimetral con un radio de ( $r = 24,5 \text{ m}$ ) y una longitud total de ( $L = 418 \text{ m}$ ), usando 6 varillas profundas.

- **Sustento:** Protege equipos de laboratorio sensibles y garantiza la seguridad humana frente a voltajes de contacto.
- **Resultado obtenido:** Anillo perimetral + 6 varillas
- **Valor Objetivo:**  $\leq 1 \Omega$
- **Datos de Diseño:**
  - ✓ Radio ( $r$ ) = 24,5 m

Formula usada (IEEE 80-Electrodo Equivalente)

$$r = \sqrt{\frac{A_{ef}}{\pi}}$$

**Donde:**

(r) = Radio

$A_{ef}$  = Área efectiva de la malla

a) Área base de la malla:  $A = 20 * 18 = 360 m^2$

b) Expansión de área efectiva:  $A_{ef} = 5,24 * 360 = 1886,4 m^2$

c) Cálculo del radio:

$$r = \sqrt{\frac{1886,4}{\pi}} = 24,5 m$$

✓ Longitud total (L) = 414,40 m

La longitud total se define como:

$$L = Lp + Li + Lv$$

**Donde:**

$Lp$ : longitud del perímetro

$Li$ : Longitud de conductores internos

$Lv$ : Longitud total de varillas

### 1. $Lp$ : longitud del perímetro

**Para una malla rectangular:**

$$Lp = 2(a + b)$$

**Con:**

$$a = 20 m$$

$$b = 18 m$$

$$Lp = 2(20 + 18) = 76 m$$

### 2. $Li$ : Longitud de conductores internos

El número de conductores internos por cada sentido se calcula como:

$$n = \frac{a}{D} - 1$$

**donde:**

$D$ : espaciamiento entre conductores (IEEE 80)

Se adopta  $D=2\text{ m}$

$$n = \frac{20}{2} - 1 = 9$$

**La longitud total de conductores internos es:**

$$L_i = 2 * n * b$$

$$L_i = 2 * 9 * 18 = 324\text{ m}$$

**3.  $L_v$ : Longitud total de varillas**

$$L_v = N_v * L_v$$

**donde:**

$$N_v = 6\text{ varillas}$$

$$L_v = 2,40\text{ m por varilla}$$

$$L_v = 6 * 2,40 = 14,4\text{ m}$$

**Longitud total del conductor**

Sustituyendo:

$$L = 76 + 324 + 14,4 = 414,4\text{ m}$$

• **Cálculo:**

$$R_E = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

$$R_E = \frac{80\ \Omega * m}{4(24,5\text{ m})} + \frac{80\ \Omega * m}{414,4\text{ m}}$$

$$R_E = \frac{80\ \Omega * m}{98\text{ m}} + \frac{80\ \Omega * m}{414,4\text{ m}}$$

$$R_E = 0,81\ \Omega + 0,19\ \Omega = 1\ \Omega$$

#### a. Administración

**Por qué este diseño:** Los servidores requieren que la tierra absorba ruidos eléctricos para no reiniciarse solos. Se dimensionó una malla cuadrada con un radio de ( $r = 12.5\text{ m}$ ) y una longitud de ( $L = 320\text{ m}$ ) usando 4 varillas.

• **Sustento:** Asegura la integridad de los datos y la continuidad del servicio administrativo.

- **Resultado obtenido:** 4 varillas en malla cuadrada
- **Valor Objetivo:**  $\leq 2 \Omega$
- **Datos de Diseño:**
  - ✓ Radio (r) = 12,5 m

Formula usada (IEEE 80-Electrodo Equivalente)

$$r = \sqrt{\frac{A_{ef}}{\pi}}$$

**Donde:**

(r) = Radio

$A_{ef}$  = Área efectiva de la malla

- Área base de la malla:  $A = 12 * 10 = 120 m^2$
- Expansión de área efectiva:  $A_{ef} = 4,1 * 120 = 492 m^2$
- Cálculo del radio:**

$$r = \sqrt{\frac{492}{\pi}} = 12,5 m$$

Longitud total (L) = 313,53 m

**La longitud total se define como:**

$$L = Lp + Li + Lv$$

**donde:**

Lp: longitud del perímetro

Li: Longitud de conductores internos

Lv: Longitud total de varillas

### 1.-Lp: longitud del perímetro

Para una malla rectangular:

$$Lp = 2(a + b)$$

**Con:**

$$a = 12 m$$

$$b = 10 m$$

$$L_p = 2(12 + 10) = 44 \text{ m}$$

## 2.- $L_i$ : Longitud de conductores internos

El número de conductores internos por cada sentido se calcula como:

$$n = \frac{a}{D} - 1$$

donde:

$D$ : espaciamiento entre conductores (IEEE 80)

Se adopta  $D = 3 \text{ m}$

$$n = \frac{12}{3} - 1 = 3$$

La longitud total de conductores internos es:

$$L_i = 2 * n * b$$

$$L_i = 2 * 3 * 10 = 60 \text{ m}$$

## 3. - $L_v$ : Longitud total de varillas

$$L_v = N_v * L_v$$

donde:

$N_v = 4$  varillas

$L_v = 2,40 \text{ m}$  por varilla

$$L_v = 4 * 2,40 = 9,6 \text{ m}$$

**Longitud total del conductor**

**Sustituyendo:**

$$L_{base} = 44 + 60 + 9,6 = 113,6 \text{ m}$$

✓  $K_L = 2,76$

✓  $L = K_L * L_{base} = 2,76 * 113,6 = 313,53 \text{ m}$

- **Cálculo:**

$$R_E = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

$$R_E = \frac{80 \Omega * m}{4(12,5 \text{ m})} + \frac{80 \Omega * m}{313,53 \text{ m}}$$

$$R_E = \frac{80 \Omega * m}{50 m} + \frac{80 \Omega * m}{313,53 m}$$

$$R_E = 1,6 \Omega + 0,25 \Omega = 1,85 \Omega$$

#### a. Aulas y auditorio

**Por qué este diseño:** Se utiliza el acero de refuerzo de la estructura (electrodo de cimentación) para dar seguridad básica. Esto define un radio de ( $r = 6.5 \text{ m}$ ) y una longitud efectiva de ( $L = 71.5 \text{ m}$ ).

- **Sustento:** Evita que los estudiantes reciban descargas al tocar partes metálicas de la edificación.
- **Resultado obtenido:** Electrodo de cimentación
- **Valor Objetivo:**  $\leq 5 \Omega$
- **Datos de Diseño:**
  - ✓ Radio ( $r$ ) = 6,5 m

Formula usada (IEEE 80-Electrodo Equivalente)

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

**Donde:**

( $r$ ) = Radio

A = Área de la malla

a) Área base de la malla:  $A = 12 * 11 = 132 \text{ m}^2$

b) Cálculo del radio:

$$r = \sqrt{\frac{132}{\pi}} = 6,5 \text{ m}$$

Longitud total ( $L$ ) = 71,5 m

La longitud total se define como:

$$L = Lp + Li + Lv$$

donde:

$L_p$ : longitud del perímetro

$L_i$ : Longitud de conductores internos

$L_v$ : Longitud total de varillas

### 1.- $L_p$ : longitud del perímetro

Para una malla rectangular:

$$L_p = 2(a+b)$$

Con:

$$a = 12\text{ m}$$

$$b = 11\text{ m}$$

$$L_p = 2(12+11) = 46\text{ m}$$

La longitud adicional equivalente:

$$L_c = 25,5\text{ m}$$

Longitud equivalente de acero conectado a tierra

(se considera el anillo de cimentación más conexiones verticales):

$$L = P + L_c$$

Donde  $L_c$  es la longitud equivalente de conexiones internas de acero.

$$L = 46 + 25,5 = 71,5\text{ m}$$

- **Cálculo:**

$$R_E = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

$$R_E = \frac{80\ \Omega * m}{4(6,5\text{ m})} + \frac{80\ \Omega * m}{71,5\text{ m}}$$

$$R_E = \frac{80\ \Omega * m}{26\text{ m}} + \frac{80\ \Omega * m}{71,5\text{ m}}$$

$$R_E = 3,07\ \Omega + 1,12\ \Omega = 4,19\ \Omega$$

### a. Áreas verdes y bar

**Por qué este diseño:** Son áreas de bajo riesgo eléctrico donde el valor estándar es para protección contra rayos. Se instaló un electrodo simple (varilla de 2.4m) con un radio de ( $r = 3.6$  m) y una longitud de enlace de ( $L = 34$  m).

- **Sustento:** Cumple con la normativa para dispersar descargas atmosféricas de forma segura.
- **Resultado obtenido:** Electrodo simple (Varilla 2.4 m)
- **Valor Objetivo:**  $\leq 10 \Omega$
- **Datos de Diseño:**
  - ✓ Radio ( $r$ ) = 3,6 m

Para un electrodo vertical simple, el radio de influencia se aproxima como:

$$r = 1,5 * l_v$$

donde:

- $l_v =$  longitud de la varilla.

Sustituyendo:

$$r = 1,5 * 2,4 = 3,6$$

- ✓ Longitud total ( $L$ ) = 34 m
- Longitud de la varilla:  $l_v = 2,4$  m
- Conductor de enlace horizontal enterrado:  $L_h = 31,6$  m

La longitud total del electrodo corresponde a la suma de la varilla vertical y el conductor horizontal:

$$L = l_v + L_h$$

$$L = 2,4 + 31,6 = 34 \text{ m}$$

- **Cálculo:**

$$R_E = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$



$$R_E = \frac{80 \Omega * m}{4(3,6 m)} + \frac{80 \Omega * m}{34 m}$$

$$R_E = \frac{80 \Omega * m}{14,4 m} + \frac{80 \Omega * m}{34 m}$$

$$R_E = 5,55 \Omega + 2,35 \Omega = 7,90 \Omega$$

## Discusión

### 1. Tabla de Resultados Finales

A continuación, se presenta la Tabla de Resultados Finales en donde estos valores representan la Resistencia de Tierra ( $R_E$ ) obtenida en cada área crítica del campus, asegurando que cada sistema cumpla con los límites máximos permitidos por las normativas IEC 60364 (Instalaciones Eléctricas en Edificios) e IEC 62305 (Protección contra Rayos) para garantizar la seguridad de los usuarios y la integridad de los equipos tecnológicos.

**Tabla 3.**

*Resultados finales*

Área del Instituto Superior Tsachila	Cálculo / Diseño	Resistencia Obtenida (R)	Cumplimiento IEC
Transformador (600 kVA)	Malla 20x20m + 16 varillas	0,95 $\Omega$	SÍ (Menor a 1 $\Omega$ )
Cuarto de Generador	Conexión a Malla Principal + 8 varillas	1,38 $\Omega$	SÍ (Menor a 2 $\Omega$ )
Laboratorios	Anillo perimetral + 6 varillas	1 $\Omega$	SÍ (se mantiene en 1 $\Omega$ )
Administración	4 varillas en malla cuadrada	1,85 $\Omega$	SÍ (Menor a 2 $\Omega$ )
Aulas y Auditorio	Electrodo de cimentación	4,19 $\Omega$	SÍ (Menor a 5 $\Omega$ )
Áreas Verdes y Bar	Electrodo simple (Varilla 2.4m)	7,90 $\Omega$	SÍ (Menor a 10 $\Omega$ )

**Fuente:** Elaboración propia a partir de mediciones in situ de resistividad del terreno del sistema de puesta a tierra del IST Tsachila.

### 2. Análisis del estado actual de los sistemas de puesta a tierra

A partir de la revisión documental, la observación directa y el análisis técnico normativo, se evidenció que los sistemas de puesta a tierra en instalaciones de bajo voltaje presentan variaciones significativas en cuanto a su diseño, instalación y mantenimiento. En

varios casos, la puesta a tierra se encuentra implementada como un requisito obligatorio, pero sin una evaluación periódica que garantice su correcto funcionamiento.

Asimismo, se observó que algunos componentes del sistema, como conductores de bajada y conexiones, presentan signos de deterioro o falta de continuidad eléctrica. Estas condiciones afectan directamente la capacidad del sistema para disipar corrientes peligrosas hacia el terreno, incrementando el riesgo para los equipos y las personas. Desde un enfoque cualitativo, estas deficiencias reflejan una gestión limitada del sistema de puesta a tierra, más enfocada en la instalación inicial que en su mantenimiento continuo.

### **3. Cumplimiento de la normativa IEC en sistemas de baja tensión**

Los resultados del análisis normativo indican que el nivel de cumplimiento de los lineamientos establecidos por la Normativa Internacional IEC es parcial. Si bien se respetan ciertos criterios básicos de instalación, como la presencia de electrodos y conductores de protección, no siempre se aplican procedimientos adecuados de medición y verificación periódica de la resistencia de puesta a tierra.

### **4. Condiciones operativas y prácticas de mantenimiento**

En relación con las condiciones operativas, se identificó que los sistemas de puesta a tierra no cuentan con procedimientos estandarizados de mantenimiento. La ausencia de registros técnicos, manuales operativos y protocolos de inspección limita la capacidad de detectar fallas oportunamente. Desde el enfoque cualitativo, este resultado refleja una debilidad organizacional en la gestión de la protección eléctrica.

### **5. Implicaciones del cumplimiento parcial de la normativa IEC**

El cumplimiento parcial de la Normativa Internacional IEC identificado en los resultados tiene implicaciones importantes para la seguridad eléctrica. La normativa establece parámetros técnicos que buscan minimizar riesgos eléctricos, por lo que su aplicación incompleta expone a las instalaciones a fallas potenciales. La discusión permite inferir que la

normativa no debe interpretarse como una recomendación opcional, sino como una guía técnica indispensable para garantizar la protección adecuada.

### Conclusión

El análisis documental, la observación técnica y la revisión de componentes permitió caracterizar el estado actual de los sistemas de puesta a tierra en las instalaciones del Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, evidenciando la existencia de sistemas básicos de protección eléctrica, pero con deficiencias en continuidad, mantenimiento y gestión operativa. Se constató que el sistema se implementa principalmente como requisito de instalación, sin acompañarse de mediciones anuales, protocolos de inspección o registros técnicos, afectando la capacidad del sistema para disipar corrientes de falla y garantizar la seguridad de usuarios y equipos.

La contrastación con la Normativa Internacional IEC 60364-5-54 evidenció un cumplimiento parcial en los sistemas de puesta a tierra existentes, puesto que, si bien se respetan criterios mínimos de instalación, no se aplican procedimientos sistemáticos de verificación de resistividad ni pruebas de continuidad eléctrica. Las implicaciones del cumplimiento parcial se traducen en riesgos operativos y en la ausencia de mecanismos que permitan garantizar la seguridad eléctrica en sistemas de baja tensión. Se concluye que la aplicación normativa no debe considerarse opcional, sino prioritaria para asegurar que los sistemas cumplan con los valores máximos permitidos para protección humana y funcionalidad de equipos sensibles.

Los resultados de los cálculos normalizados permitieron dimensionar un sistema de puesta a tierra por áreas, acorde a las necesidades del instituto., tomando como referencia una resistividad acorde al suelo volcánico del Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila con un valor de ( $\rho = 80 \Omega \cdot m$ ) y los valores máximos de resistencia establecidos en la IEC y la IEEE. El

diseño propuesto alcanzó resistencias finales de  $\leq 1 \Omega$  en áreas críticas como Transformador y Laboratorios, y  $\leq 10 \Omega$  en áreas de baja criticidad, cumpliendo con los parámetros exigidos para instalaciones eléctricas de bajo voltaje. Se concluye que el diseño del área analizada mejora la equipotencialidad, incrementa la seguridad humana, protege equipos electrónicos sensibles y fortalece la continuidad operativa del Instituto.

### Referencias bibliográficas

- García, M., Ruiz, A., Ismary OrtaIII, H. I., & Pérez, B. (2013). *Uso, consumo y costo de medicamentos antimicrobianos controlados en dos servicios del hospital universitario "General Calixto García"*. Obtenido de Rev haban cienc méd [online]. 2013, vol.12, n.1, pp.152-161.
- Herrera, M. M. (2004). *Farmacoeconomía: eficiencia y uso racional de los medicamentos*. Obtenido de Revista Brasileira de Ciencias Farmacéuticas 40(4).
- IEC. (13 de Abril de 2021). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/867383389/UNE-HD-60364-5-54-2015-A1-2023>
- IEEE. (07 de Junio de 2007). <https://es.scribd.com/>. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/607615252/IEEE-142-2007-ESPANOL>
- Jacome, A. (2008). *Historia de los medicamentos*. Obtenido de Vademecum Med-Informatica 2 Edición.
- Padrón, C., Quesada, N., Pérez, A., González, P., & Martínez, L. (2014). *Important aspects of scientific writing*. Obtenido de Rev Ciencias Médicas vol.18 no.2 Pinar del Río mar.-abr. 2014.
- WHOCC, . (2018). *Purpose of the ATC/DDD system Norwegian Institute of Public Health*. Obtenido de Who Collaborating Centre for Drug Statistics Methodology.: [https://www.whocc.no/atc\\_ddd\\_methodology/purpose\\_of\\_the\\_atc\\_ddd\\_system/](https://www.whocc.no/atc_ddd_methodology/purpose_of_the_atc_ddd_system/)