

Estudio comparativo de la resistividad del suelo y su influencia en la resistencia de puesta tierra en Santo Domingo, Ecuador

Comparative study of soil resistivity and its influence on grounding resistance in Santo Domingo, Ecuador

Abad Yar Josue Alexander, Carreño Remache Erick Gustavo, Ortega Ordoñez Roberto Carlos

DIMENSIÓN CIENTÍFICA

Enero - junio, V^o7-N^o1; 2026

Recibido: 25-01-2026

Aceptado: 03-02-2026

Publicado: 30-06-2026

PAIS

- Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador
- Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador
- Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador

INSTITUCION

- Instituto Superior Tecnológico Tsachila
- Instituto Superior Tecnológico Tsachila
- Instituto Superior Tecnológico Tsachila

CORREO:

- ✉ josueabadyar@tsachila.edu.ec
- ✉ erickcarrenoremache@tsachila.edu.ec
- ✉ robertoortega@tsachila.edu.ec

ORCID:

- <https://orcid.org/0009-0001-5651-7389>
- <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0006-9543-163X>
- <https://orcid.org/0000-0003-1121-7507>

FORMATO DE CITA APA.

Abad, J., Carreño, E. & Ortega, R. (2026). Estudio comparativo de la resistividad del suelo y su influencia en la resistencia de puesta tierra en Santo Domingo, Ecuador. Revista G-ner@ndo, V^o7 (N^o1), p.1510 -- 1540.

Resumen

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo establecer la correlación entre los valores de resistividad del suelo en diferentes sectores del cantón Santo Domingo, Ecuador, y su influencia teórica en el diseño y la resistencia final de los sistemas de puesta a tierra. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y un alcance correlacional, considerando la medición directa de los parámetros eléctricos del terreno como base para el análisis del comportamiento de los sistemas de puesta a tierra. Para el desarrollo del estudio, se recopiló información sobre la resistencia del suelo en diferentes sectores de zonas urbanas y rurales del cantón Santo Domingo, lo que permitió identificar variaciones significativas en el terreno. Las mediciones se realizaron mediante el método wenner, utilizando un telurómetro, electrodos auxiliares de corriente y potencial, y siguiendo criterios técnicos establecidos en normativas eléctricas internacionales, garantizando la confiabilidad, repetibilidad y consistencia de los resultados obtenidos. Con base en los valores de resistencia del suelo medidos y en las características del suelo, se procedió a analizar la relación existente entre la resistividad del terreno y el desempeño de los sistemas de puesta a tierra. Adicionalmente, se simuló el comportamiento teórico de la resistencia de puesta a tierra para configuraciones óptimas de electrodos, considerando parámetros técnicos y normativas eléctricas aplicables. Estas simulaciones y representaciones gráficas permitieron visualizar la influencia de las condiciones en el terreno.

Palabras clave: Resistividad del suelo; sistemas de puesta a tierra; método wenner; resistencia del suelo; telurómetro; diseño de sistemas eléctricos; normativas eléctricas

Abstract

The present graduation project aims to establish the correlation between soil resistivity values in different sectors of the canton of Santo Domingo, Ecuador, and their theoretical influence on the design and final resistance of grounding systems. The research was developed under a quantitative approach with a correlational scope, considering the direct measurement of the electrical parameters of the soil as the basis for analyzing the behavior of grounding systems. For the development of the study, information on soil resistance was collected in different sectors of urban and rural areas of the canton of Santo Domingo, which allowed the identification of significant variations in the terrain. The measurements were carried out using the Wenner method, employing an earth resistance tester (telurómetro), auxiliary current and potential electrodes, and following technical criteria established in international electrical standards, thereby ensuring the reliability, repeatability, and consistency of the obtained results. Based on the measured soil resistance values and the characteristics of the terrain, the relationship between soil resistivity and the performance of grounding systems was analyzed. Additionally, the theoretical behavior of grounding resistance was simulated for optimal electrode configurations, considering applicable technical parameters and electrical standards. These simulations and graphical representations made it possible to visualize the influence of ground conditions on the performance of grounding systems.

Keywords: Soil resistivity, grounding systems, Wenner Method, soil resistance, tellurometer, design of electrical systems, electrical regulations.

Introducción

En la actualidad, los sistemas de puesta a tierra constituyen un elemento fundamental en las instalaciones eléctricas, ya que garantizan la seguridad de las personas, la protección de los equipos y la correcta operación del sistema frente a fallas, sobretensiones y descargas atmosféricas. En regiones con clima tropical, los suelos presentan elevados niveles de humedad durante gran parte del año, condición que influye directamente en la resistividad del terreno, parámetro clave para el diseño y evaluación de los sistemas de puesta a tierra conforme a la norma IEEE Std 80.

A pesar de la importancia de este parámetro, en muchas zonas del país existe una limitada disponibilidad de información técnica y científica sobre las características eléctricas y geotécnicas del suelo. Esta carencia dificulta la aplicación rigurosa de los criterios de diseño recomendados por la normativa IEEE Std 81, lo que en algunos casos obliga a utilizar valores referenciales o mediciones aisladas que no representan el comportamiento real del terreno, generando sistemas de puesta a tierra poco eficientes o sobredimensionados.

En la práctica profesional, los técnicos y estudiantes de nivel tecnológico o universitario emplean instrumentos como el telurómetro para medir la resistencia de puesta a tierra, siguiendo los métodos establecidos en la norma IEEE Std 81. Sin embargo, estas mediciones suelen realizarse sin considerar propiedades físicas del suelo como la humedad, la densidad y el tipo de terreno, factores que influyen significativamente en la variación de la resistividad eléctrica.

Asimismo, la presencia de suelos arcillosos, arenosos y mixtos en una misma zona geográfica genera variabilidad en los valores de resistividad. En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo establecer una base técnica que relacione la resistividad del suelo con sus características geotécnicas, con el fin de mejorar el diseño y la seguridad de los sistemas de puesta a tierra.

Métodos y Materiales

La modalidad de la presente investigación es de carácter cuantitativo, ya que no se queda en el diagnóstico facultativo de la problemática detectada, sino que pretende recolectar una serie de datos que llenen el vacío de información detectado, como es precisamente la temática que nos ocupa, como es, “Estudio comparativo de la resistividad del suelo y su influencia en la efectividad de puesta tierra en Santo Domingo, Ecuador”

Se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, ya que se basó en la recolección y análisis de datos numéricos obtenidos a partir de mediciones directas de la resistividad del suelo. Este tipo de investigación permitió evaluar de manera objetiva las variaciones de los valores registrados en los distintos sectores del cantón Santo Domingo, facilitando su análisis estadístico. Asimismo, el enfoque cuantitativo contribuyó a establecer relaciones y comparaciones precisas entre las variables estudiadas, sustentando las conclusiones del trabajo.

Para la ejecución de esta investigación, se optó por un diseño de campo, lo que implicó realizar mediciones directas en distintos puntos geográficos del cantón Santo Domingo, Ecuador. Este enfoque permitió obtener datos reales y específicos sobre la resistividad del suelo en diversas ubicaciones, representando con mayor precisión las condiciones geotécnicas locales.

Las mediciones se llevaron a cabo utilizando equipos especializados, como telurómetros digitales, que garantizan resultados confiables en tiempo real. Las zonas seleccionadas para la toma de muestras fueron elegidas estratégicamente, abarcando tanto áreas urbanas como rurales, lo que permitió comparar la variabilidad de la resistividad del suelo en diferentes tipos de terreno, así como la influencia de factores climáticos como la humedad y la temperatura. El diseño de campo no solo facilitó la recopilación de información precisa y contextualizada, sino que también proporcionó una base sólida para la posterior simulación del comportamiento de la resistencia de puesta a tierra bajo diferentes condiciones.

La población objeto de estudio está constituida por los diversos tipos de suelo existentes en las zonas urbana y rural del cantón Santo Domingo, los cuales presentan características

físicas, químicas y eléctricas particulares que influyen directamente en su comportamiento frente a la conducción de corriente eléctrica.

Esta población incluye suelos con diferentes composiciones granulométricas, niveles de humedad, grados de compactación y contenidos minerales, factores que determinan variaciones significativas en los valores de resistividad eléctrica. Considerar tanto el entorno urbano como el rural permite obtener una visión integral del comportamiento del suelo en el cantón, garantizando que los resultados del estudio sean representativos de las condiciones reales del terreno y puedan ser aplicados de manera general en el diseño teórico de sistemas de puesta a tierra.

La muestra fue seleccionada mediante un muestreo intencional, tomando en consideración sectores representativos del cantón Santo Domingo, tanto en áreas urbanas como rurales. Esta selección se realizó con el fin de abarcar zonas con diferentes características del suelo, niveles de humedad y condiciones geográficas. De esta manera, se buscó obtener datos que reflejen de forma adecuada la variabilidad de la resistividad del terreno. La elección de los sectores permitió garantizar la pertinencia y representatividad de los resultados obtenidos en la investigación.

Fórmulas aplicadas para el cálculo de la resistividad del suelo

Para el cálculo de la resistividad aparente del suelo se empleó la expresión propuesta en la norma (IEEE Std 81, 2012). La resistividad aparente del suelo (ρ_a) se determinó a partir de la resistencia medida utilizando la siguiente expresión:

$$\rho_a = 2\pi \cdot a \cdot R$$

Donde:

ρ_a = resistividad aparente del suelo ($\Omega \cdot m$)

a = separación entre electrodos (m)

R = resistencia medida (Ω)

Esta fórmula permitió estimar la resistividad del terreno a partir de las mediciones realizadas en campo, facilitando el análisis comparativo entre los distintos sectores evaluados.

Métodos para la reducción de la resistencia de puesta a tierra en suelos de alta resistividad

Cuando el terreno presenta valores elevados de resistividad, es necesario aplicar estrategias técnicas que permitan reducir la resistencia del sistema de puesta a tierra. Entre los métodos más utilizados se encuentran el incremento del número de electrodos, el aumento de la profundidad de enterramiento, la utilización de configuraciones en anillo o malla, y la interconexión de múltiples varillas Copperweld mediante conductores desnudos de cobre.

Asimismo, se emplea el mejoramiento del terreno mediante materiales de baja resistividad, como bentonita, sales conductoras o compuestos químicos especializados, los cuales incrementan la conductividad del suelo alrededor de los electrodos. Estas técnicas permiten optimizar el desempeño del sistema de puesta a tierra y cumplir con los límites establecidos por la normativa eléctrica vigente.

Análisis de Resultados

Resultado del tratamiento y análisis de la información

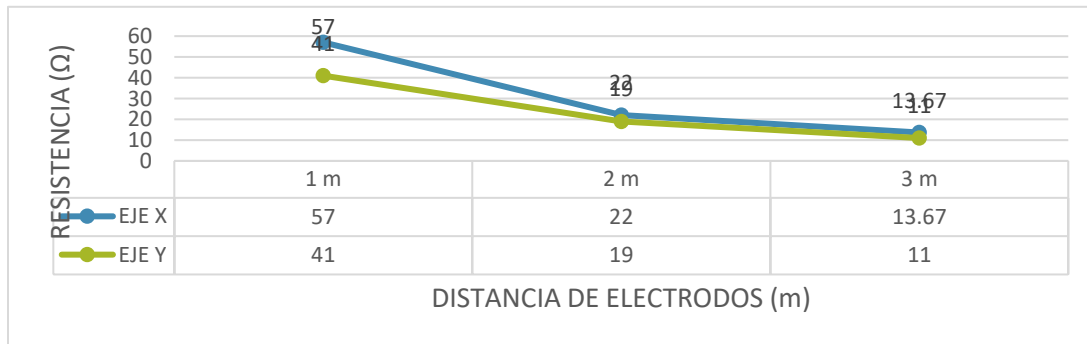
Tabla 1 Resultado del cálculo de resistividad Umpe Chico

CÁLCULO DE RESISTIVIDAD DEL SUELO(ρ_a)			
REFERENCIA (X=-0.210900 / Y=-79.197258)			
ELEVACIÓN (m s. n. m.) 494			
POSICIÓN 1			
# DE MEDIDA	SEPARACIÓN (m)	R(Ω)	ρ_a (Ω m)
N.- 1	1	57,00	358,14
N.- 2	2	22,00	276,46
N.- 3	3	13,67	257,67
POSICIÓN 2			
# DE MEDIDA	SEPARACIÓN (m)	R(Ω)	ρ_a (Ω m)
N.- 1	1	41	257,61
N.- 2	2	19	238,76
N.- 3	3	11	207,35
Promedio=		27,28	266,00

Nota: Los valores presentados corresponden a las mediciones realizadas mediante el método Wenner con separaciones de electrodos de 1 m, 2 m y 3 m, a partir de las cuales se calculó la resistividad aparente del suelo. Los resultados permiten caracterizar eléctricamente el terreno

del sector Umpe Chico y constituyen la base para el análisis del comportamiento del sistema de puesta a tierra.

Figura 1 Resistencia del suelo - Umpe Chico



Nota: La gráfica evidencia una relación directamente proporcional entre la resistividad del suelo y la resistencia del sistema de puesta a tierra. El valor promedio de resistividad aparente obtenido en este sector es de 266,00 $\Omega \cdot m$, lo cual corresponde a un suelo de tipo humus o suelo orgánico con contenido moderado de humedad. A pesar de presentar mejores condiciones que suelos arenosos secos, estos valores siguen siendo relativamente elevados, provocando una resistencia de puesta a tierra alta y una corriente de defecto reducida. Esta condición dificulta la actuación rápida de los dispositivos de protección, por lo que se recomienda aplicar técnicas de mejora del terreno o incrementar el número de electrodos para garantizar condiciones adecuadas de seguridad eléctrica.

Ubicación 2 Av Quito

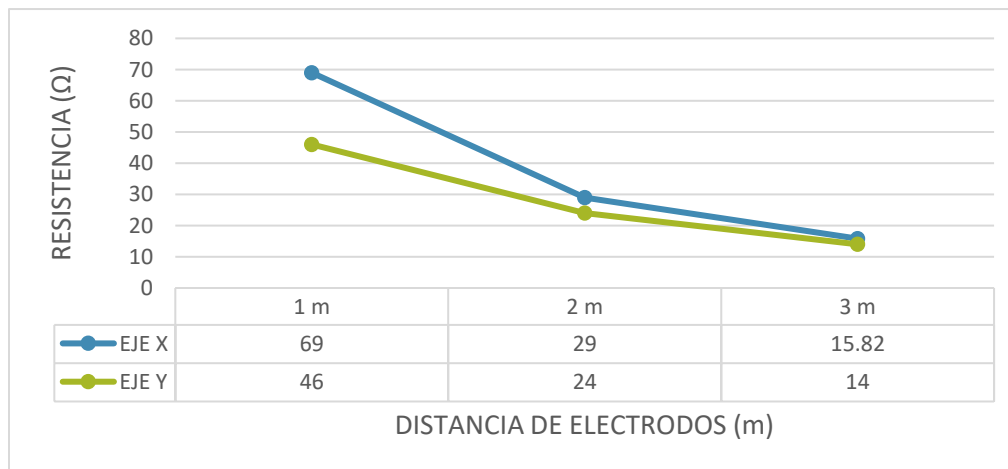
Tabla 2 Resultado del cálculo de resistividad Avenida Quito

CÁLCULO DE RESISTIVIDAD DEL SUELO(pa)			
REFERENCIA (X=-0.246357 / Y=-79.147012)			
ELEVACIÓN (m s. n. m.) 591			
POSICIÓN 1			
# DE MEDIDA	SEPARACIÓN (m)	R(Ω)	pa(Ωm)
N.- 1	1	69,00	433,54
N.- 2	2	29,00	364,42
N.- 3	3	15,82	298,20

POSICIÓN 2			
# DE MEDIDA	SEPARACIÓN (m)	R(Ω)	$\rho_a(\Omega m)$
N.- 1	1	46	289,03
N.- 2	2	24	301,59
N.- 3	3	14	263,89
Promedio=		32,97	325,11

Nota: La tabla muestra las resistencias medidas en campo y los valores de resistividad aparente obtenidos para diferentes separaciones entre electrodos, aplicando el método Wenner. Estos datos permiten evaluar la variación de la resistividad del suelo con la profundidad aparente y sirven como insumo principal para el diseño del sistema de puesta a tierra en este sector.

Figura 2 Resistencia del suelo - Avenida Quito



Nota: En la Avenida Quito se registró un valor promedio de resistividad aparente de 325,11 $\Omega \cdot m$, lo que indica un suelo de tipo similarcillos a arenoso, característico de terrenos con baja conductividad natural. Este tipo de suelo presenta mayor dificultad para disipar corrientes de falla, reflejándose en una resistencia de puesta a tierra elevada y una intensidad de defecto baja. La gráfica confirma que este sector requiere configuraciones más complejas del sistema de puesta a tierra, tales como mayor profundidad de enterramiento o la incorporación de electrodos adicionales, con el fin de cumplir los límites establecidos por la normativa eléctrica.

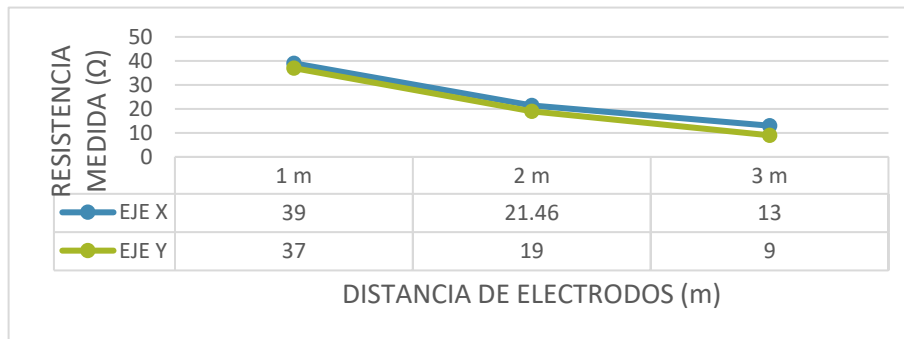
Ubicación 3 Cooperativa Rumiñahui.

Tabla 3 Resultado del cálculo de resistividad Cooperativa Rumiñahui

CÁLCULO DE RESISTIVIDAD DEL SUELO(ρ_a)			
REFERENCIA (X=-0.269677 / Y=-79.174224)			
ELEVACIÓN (m s. n. m.) 537			
POSICIÓN 1			
# DE MEDIDA	SEPARACIÓN (m)	R(Ω)	$\rho_a(\Omega m)$
N.- 1	1	39.00	245,04
N.- 2	2	21.46	269,67
N.- 3	3	13.00	245,04
POSICIÓN 2			
# DE MEDIDA	SEPARACIÓN (m)	R(Ω)	$\rho_a(\Omega m)$
N.- 1	1	37	232,48
N.- 2	2	19	238,76
N.- 3	3	9	169,65
Promedio=		23,08	233,44

Nota: Se presentan los resultados de resistividad aparente calculados a partir de las resistencias medidas en dos posiciones del terreno, considerando separaciones de 1 m, 2 m y 3 m. Esta información permite identificar la heterogeneidad del suelo y analizar su influencia en el desempeño del sistema de puesta a tierra.

Figura 3 Resistencia del suelo - Cooperativa Rumiñahui



Nota: El sector Rumiñahui presentó un valor promedio de resistividad aparente de 233,44 $\Omega \cdot m$, correspondiente a un suelo de tipo franco–arcilloso, con conductividad intermedia. Este comportamiento se traduce en un desempeño aceptable para un sistema de puesta a tierra, aunque aún requiere ajustes de diseño para mejorar los márgenes de seguridad. La dispersión observada en la gráfica sugiere heterogeneidad en las capas del terreno, lo cual evidencia la

necesidad de realizar mediciones en varios puntos antes de definir la configuración definitiva del sistema.

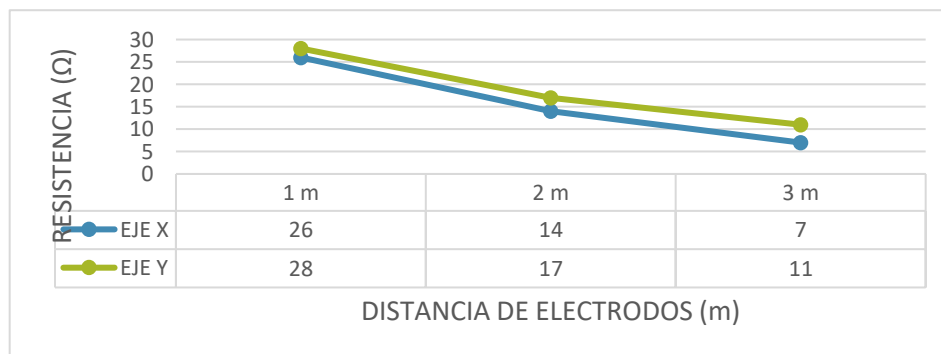
Ubicación 4 Cooperativa Heriberto Maldonado

Tabla 4 Resultado del cálculo de resistividad Cooperativa Heriberto Maldonado

CÁLCULO DE RESISTIVIDAD DEL SUELO(ρ_a)			
REFERENCIA (X=-0.243874/ Y=-79.201003)			
ELEVACIÓN (m s. n. m.) 498			
POSICIÓN 1			
# DE MEDIDA	SEPARACIÓN (m)	R(Ω)	$\rho_a(\Omega m)$
N.- 1	1	26	163,36
N.- 2	2	14	175,93
N.- 3	3	7	131,95
POSICIÓN 2			
# DE MEDIDA	SEPARACIÓN (m)	R(Ω)	$\rho_a(\Omega m)$
N.- 1	1	28	175,93
N.- 2	2	17	213,63
N.- 3	3	11	207,35
Promedio=		17,17	178,02

Nota: La tabla recoge los valores de resistencia y resistividad aparente obtenidos en campo mediante el método Wenner. Los resultados evidencian un terreno con mejor conductividad eléctrica en comparación con los demás sectores evaluados, proporcionando parámetros fundamentales para la estimación de la resistencia de puesta a tierra.

Figura 4 Resistencia del suelo - Heriberto Maldonado



Nota: En este sector se obtuvo un valor promedio de resistividad aparente de 178,02 $\Omega \cdot m$, el más bajo entre las ubicaciones analizadas, lo que corresponde a un suelo arcilloso húmedo o terreno

con buena conductividad natural. Esta condición favorece una resistencia de puesta a tierra reducida y una mayor intensidad de defecto, permitiendo una desconexión rápida ante fallas eléctricas, debido a una menor resistencia de puesta a tierra que facilita la circulación de la corriente de defecto. La gráfica confirma que suelos con menor resistividad permiten diseños más simples y económicos del sistema de puesta a tierra, garantizando mejores condiciones de seguridad.

Tabla 5 *Cálculo de aprobación Umpe Chico*

CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA / LEYENDA DE COLORES					
PARÁMETROS CALCULADOS CON FÓRMULAS					
VALORES OBTENIDOS EN PASOS ANTERIORES					
MEDICIONES TOMADAS EN OBRA (IN SITU)					
SE CUMPLEN LOS LÍMITES INDICADOS POR LA NORMATIVA					
NO SE CUMPLEN LOS LÍMITES INDICADOS POR LA NORMATIVA					
NO APLICA PARA EL PROYECTO CONSIDERADO					
1) OBTENCIÓN DE LAS TENSIONES MÁXIMAS ADMISIBLES					
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS	Y
ESQ-BT	Esquema de puesta a tierra	TT	-	Esquema elegido por el proyectista	
ID0	Intensidad de defecto	213,17	[A]	Dato facilitado por la empresa distribuidora	
TF	Duración del defecto	0,70	[s]	Dato facilitado por la empresa distribuidora	
UCA	Tensión de contacto aplicada admisible	150,00	[V]	Tabla/Figura N°1 de la ITC-RAT 13 (depende de TF)	
RA1	Resistencia equivalente del calzado	2000,00	[Ω]	Apartado 1.1 de la ITC-RAT 13	
ρT	Resistividad del terreno	266,00	[Ωm]	Valor estimado por el proyectista	
HS1	Espesor de la capa superficial (zona 1)	0,50	[m]	Espesor del suelo del CT o de la base del apoyo	
ρ*1	Resistividad de la capa superficial (zona 1)	3000,00	[Ωm]	Tabla N°2 de la ITC-RAT 13 (hormigón)	
CS1	Coefficiente reductor de la resistividad (zona 1)	0,913	[-]	Fórmula N°3 de la ITC-RAT 13	
ρS1	Resistividad superficial aparente del suelo (zona 1)	2739,00	[Ωm]	Resultado de $[\rho^*1 \times CS1]$	

HS2	Espesor de la capa superficial (zona 2)	0,05	[m]	Espesor del suelo en la zona de utilización (parking)
ρ^*2	Resistividad de la capa superficial (zona 2)	10000,00	[Ω m]	Tabla D.1 IEEE Std 81TM-2012 (asfalto húmedo)
CS2	Coefficiente reductor de la resistividad (zona 2)	0,499	[-]	Fórmula N°3 de la ITC-RAT 13
$\rho S2$	Resistividad superficial aparente del suelo (zona 2)	4990,00	[Ω m]	Resultado de [$\rho^*2 \times CS2$]
UC-INT-MAX1	Tensión de contacto máxima admisible interior (sobre zona 1)	916,28	[V]	Fórmula N°1 de la ITC-RAT 13
UC-INT-MAX2	Tensión de contacto máxima admisible interior (sobre zona 2)	1422,75	[V]	
UC-EXT-MAX	Tensión de contacto máxima admisible exterior (sobre terreno)	359,85	[V]	
UP-INT-MAX1	Tensión de paso máxima admisible interior (sobre zona 1)	32151,00	[V]	Fórmula N°2 de la ITC-RAT 13
UP-INT-MAX2	Tensión de paso máxima admisible interior (sobre zona 2)	52410,00	[V]	
UP-EXT-MAX	Tensión de paso máxima admisible exterior (sobre terreno)	9894,00	[V]	
UP-ACC-MAX1	Tensión de paso máxima admisible en acceso (terreno/zona 1)	21022,50	[V]	
UP-ACC-MAX2	Tensión de paso máxima admisible en acceso (terreno/zona 2)	31152,00	[V]	

2) DISEÑO DE LA PUESTA A TIERRA DE HERRAJES (ALTA TENSIÓN)

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
ID0	Intensidad de defecto	213,17	[A]	Dato facilitado por la empresa distribuidora
rE	Reducción por la puesta a tierra de la pantalla de los cables	0,70	[-]	Obtenido de la Guía-BT-18 (ED: Oct 05 / REV: 1) o estimado mediante el teorema de Thévenin
ID	Intensidad de defecto corregida (también denominada IE)	149,22	[A]	Resultado de [$ID0 \times rE$]
ρT	Resistividad del terreno	266,00	[Ω m]	Valor estimado por proyectista

CONF-AT	Configuración elegida para la puesta a tierra de AT	80-40/8/82	[-]	8 · picas cobrizadas de $\varnothing 14$ [mm] x 2 [m] a 0.8 [m] de profundidad dispuestas en anillo de 8x4 [m] y unidas por conductor desnudo de 50 [mm ²]
KR-AT	Coefficiente de resistencia	0,0630	[$\Omega/\Omega\text{m}$]	Tablas metodología UNESA - Anexo II
KP-INT/EXT-AT	Coefficiente de paso interior/exterior	0,0095	[$\Omega/(\Omega\text{m}\cdot\text{A})$]	
KP/C-ACC/EXT-AT	Coefficiente de paso acceso y de contacto exterior	0,0277	[$\Omega/(\Omega\text{m}\cdot\text{A})$]	
RT-AT	Resistencia de puesta a tierra de AT	16,758	[Ω]	Resultado de [$\text{KR} \times \rho\text{T}$]
UL	Tensión límite transmitible en función del esquema de la PAT	1200	[V]	Fórmula P.11 de la ITC-BT-18
D	Separación mínima de la PAT de AT con PAT de neutro y BT	5,26	[m]	
DC-PAT	Densidad de corriente sufrida por los conductores de tierra	2,98	[-]	Para una sección de 50 [mm ²], resultado de [$\text{ID}/50$]
MEC	Material empleado para los conductores de tierra	Cobre	[-]	Para determinar la densidad de corriente máxima
DC-PAT-MAX	Densidad de corriente máxima acorde a normativa	160	[-]	Apartado 3.1 de la ITC-RAT 13 (depende de MEC)

3) COMPROBACIÓN DE LAS TENSIONES DE CONTACTO, PASO Y DEFECTO

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
ACBT	Aislamiento del cuadro de BT del CT	1000	[V]	Depende del modelo de armario
UD	Tensión de defecto a tierra	2500,61	[V]	Resultado de [$\text{RT-AT} \times \text{ID}$]
UC-INT	Tensión de contacto dentro del CT o sobre base del apoyo	0,00	[V]	Despreciable por montaje de mallazo equipotencial
UP-INT	Tensión de paso dentro del CT o sobre base del apoyo	0,00	[V]	embebido en suelo de hormigón puesto a tierra
UC-EXT	Tensión de contacto fuera del CT o de la base del apoyo	0,00	[V]	Se considera nula por el uso de elementos estructurales aislantes (pavimento, muro) y al aislamiento de las partes metálicas de AT que dan al exterior

UP-EXT	Tensión de paso fuera del CT o de la base del apoyo	377,08	[V]	Resultado de $[\rho T \times ID \times KP-EXT-AT]$
UP-ACC	Tensión de paso en el acceso al CT o la base del apoyo	2500,61	[V]	Es equivalente a UD por la presencia del mallazo equipotencial en el suelo del acceso
Condición mínima 1: tensiones producidas menores sus valores máximos admisibles				Cumple <input checked="" type="checkbox"/>
Condición mínima 2: tensión de defecto (UD) inferior al aislamiento eléctrico del cuadro del CT (ACBT)				No cumple <input type="checkbox"/>
Condición mínima 3: densidad de corriente por debajo del umbral de los conductores de tierra				Cumple <input checked="" type="checkbox"/>

4) CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA DE SERVICIO (NEUTRO)

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
UC-BT	Tensión de contacto convencional de referencia	220	[V]	Apartado 9 ITC-BT-18
SDIF-N	Sensibilidad de referencia	0,650	[A]	Valor recomendado en guías técnicas y normas particulares de las empresas distribuidoras
ρT	Resistividad del terreno	266	$[\Omega m]$	Valor estimado por proyectista
RT-N-MAX	Resistencia máxima de la tierra del neutro	338,46	$[\Omega]$	Fórmula P.4.1.2 de la ITC-BT 24, resultado de $[UC-BT / SDIF-N]$
CONF-N	Configuración elegida para la puesta a tierra del neutro	5/62	[-]	6 · picas cobrizadas de $\varnothing 14$ [mm] x 2 [m] a 0.5 [m] de profundidad dispuestas en hilera
KR-N	Coefficiente de resistencia	0,073	$[\Omega/\Omega m]$	Tablas metodología UNESA - Anexo II
RT-N	Resistencia de puesta a tierra del neutro	19,418	$[\Omega]$	Resultado de $[KR-N \times \rho T]$
Condición mínima a cumplir: $RT-N < RT-N-MAX$				Cumple <input checked="" type="checkbox"/>

5) CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA DE UTILIZACIÓN (BAJA TENSIÓN)

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
UC-BT	Tensión de contacto convencional de referencia	220	[V]	Apartado 9 ITC-BT-18
SDIF-BT	Sensibilidad del diferencial de cabecera	0,300	[A]	Valor fijado por proyectista
ρT	Resistividad del terreno	266	$[\Omega/\Omega m]$	Valor estimado por proyectista

RT-BT-MAX	Resistencia máxima de la tierra de baja tensión	733,3333333	[Ω]	Fórmula P.4.1.2 de la ITC-BT 24, resultado de [UC-BT / SDIF-BT]
CONF-BT	Configuración elegida para la puesta a tierra de BT	5/62	[-]	6 · picas cobrizadas de ø14 [mm] x 2 [m] a 0.5 [m] de profundidad dispuestas en hilera
KR-BT	Coefficiente de resistencia	0,0730	[Ω/Ωm]	Tablas metodología UNESA - Anexo II
RT-BT	Resistencia de puesta a tierra de BT	19,418	[Ω]	Resultado de [KR-BT x ρT]
Condición mínima a cumplir: RT-BT < RT-BT-MAX				Cumple <input checked="" type="checkbox"/>
Condición adicional para unir PAT de BT y neutro (esquema TN): RT-BT ≤ 2 [Ω]				No cumple <input checked="" type="checkbox"/>

Nota: La tabla presenta el cálculo de verificación del sistema de puesta a tierra del sector Umpe Chico, considerando los parámetros eléctricos del terreno, la resistividad aparente obtenida, la intensidad de defecto y los límites admisibles de tensión de contacto establecidos por la normativa. Estos resultados permiten determinar si el diseño cumple con los criterios de seguridad eléctrica o si requiere mejoras, constituyéndose en una herramienta fundamental para validar técnicamente la viabilidad del sistema propuesto. Tomado de (Ingeniero Solitario, s.f.).

Tabla 6 Cálculo de aprobación Avenida Quito

CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA / LEYENDA DE COLORES					
PARÁMETROS CALCULADOS CON FÓRMULAS					
VALORES OBTENIDOS EN PASOS ANTERIORES					
MEDICIONES TOMADAS EN OBRA (IN SITU)					
SE CUMPLEN LOS LÍMITES INDICADOS POR LA NORMATIVA					
NO SE CUMPLEN LOS LÍMITES INDICADOS POR LA NORMATIVA					
NO APLICA PARA EL PROYECTO CONSIDERADO					
1) OBTENCIÓN DE LAS TENSIONES MÁXIMAS ADMISIBLES					
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS	
ESQ-BT	Esquema de puesta a tierra	TT	-	Esquema elegido por el proyectista	
IDO	Intensidad de defecto	213,17	[A]	Dato facilitado por la empresa distribuidora	
TF	Duración del defecto	0,70	[s]	Dato facilitado por la empresa distribuidora	
UCA	Tensión de contacto aplicada admisible	150,00	[V]	Tabla/Figura N°1 de la ITC-RAT 13 (depende de TF)	

RA1	Resistencia equivalente del calzado	2000,00	[Ω]	Apartado 1.1 de la ITC-RAT 13
ρT	Resistividad del terreno	325,11	[Ωm]	Valor estimado por el proyectista
HS1	Espesor de la capa superficial (zona 1)	0,50	[m]	Espesor del suelo del CT o de la base del apoyo
ρ^*1	Resistividad de la capa superficial (zona 1)	3000,00	[Ωm]	Tabla N°2 de la ITC-RAT 13 (hormigón)
CS1	Coefficiente reductor de la resistividad (zona 1)	0,915	[-]	Fórmula N°3 de la ITC-RAT 13
$\rho S1$	Resistividad superficial aparente del suelo (zona 1)	2745,00	[Ωm]	Resultado de [$\rho^*1 \times CS1$]
HS2	Espesor de la capa superficial (zona 2)	0,05	[m]	Espesor del suelo en la zona de utilización (parking)
ρ^*2	Resistividad de la capa superficial (zona 2)	10000,00	[Ωm]	Tabla D.1 IEEE Std 81TM-2012 (asfalto húmedo)
CS2	Coefficiente reductor de la resistividad (zona 2)	0,502	[-]	Fórmula N°3 de la ITC-RAT 13
$\rho S2$	Resistividad superficial aparente del suelo (zona 2)	5020,00	[Ωm]	Resultado de [$\rho^*2 \times CS2$]
UC-INT-MAX1	Tensión de contacto máxima admisible interior (sobre zona 1)	917,63	[V]	Fórmula N°1 de la ITC-RAT 13
UC-INT-MAX2	Tensión de contacto máxima admisible interior (sobre zona 2)	1429,50	[V]	
UC-EXT-MAX	Tensión de contacto máxima admisible exterior (sobre terreno)	373,15	[V]	
UP-INT-MAX1	Tensión de paso máxima admisible interior (sobre zona 1)	32205,00	[V]	Fórmula N°2 de la ITC-RAT 13
UP-INT-MAX2	Tensión de paso máxima admisible interior (sobre zona 2)	52680,00	[V]	
UP-EXT-MAX	Tensión de paso máxima admisible exterior (sobre terreno)	10425,99	[V]	
UP-ACC-MAX1	Tensión de paso máxima admisible en acceso (terreno/zona 1)	21315,50	[V]	
UP-ACC-MAX2	Tensión de paso máxima admisible en acceso (terreno/zona 2)	31553,00	[V]	

2) DISEÑO DE LA PUESTA A TIERRA DE HERRAJES (ALTA TENSIÓN)

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
ID0	Intensidad de defecto	213,17	[A]	Dato facilitado por la empresa distribuidora
rE	Reducción por la puesta a tierra de la pantalla de los cables	0,66	[-]	Obtenido de la Guía-BT-18 (ED: Oct 05 / REV: 1) o estimado mediante el teorema de Thévenin
ID	Intensidad de defecto corregida (también denominada IE)	140,69	[A]	Resultado de [ID0 x rE]
ρT	Resistividad del terreno	325,11	[Ωm]	Valor estimado por proyectista
CONF-AT	Configuración elegida para la puesta a tierra de AT	80-40/8/82	[-]	8 · picas cobrizadas de ø14 [mm] x 2 [m] a 0.8 [m] de profundidad dispuestas en anillo de 8x4 [m] y unidas por conductor desnudo de 50 [mm ²]
KR-AT	Coefficiente de resistencia	0,0630	[Ω/Ωm]	Tablas metodología UNESA - Anexo II
KP-INT/EXT-AT	Coefficiente de paso interior/exterior	0,0095	[Ω/(Ωm·A)]	
KP/C-ACC/EXT-AT	Coefficiente de paso acceso y de contacto exterior	0,0277	[Ω/(Ωm·A)]	
RT-AT	Resistencia de puesta a tierra de AT	20,48193	[Ω]	Resultado de [KR x ρT]
UL	Tensión límite transmitible en función del esquema de la PAT	1200	[V]	Fórmula P.11 de la ITC-BT-18
D	Separación mínima de la PAT de AT con PAT de neutro y BT	6,07	[m]	
DC-PAT	Densidad de corriente sufrida por los conductores de tierra	2,81	[-]	Para una sección de 50 [mm ²], resultado de [ID/50]
MEC	Material empleado para los conductores de tierra	Cobre	[-]	Para determinar la densidad de corriente máxima
DC-PAT-MAX	Densidad de corriente máxima acorde a normativa	160	[-]	Apartado 3.1 de la ITC-RAT 13 (depende de MEC)

3) COMPROBACIÓN DE LAS TENSIONES DE CONTACTO, PASO Y DEFECTO

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
ACBT	Aislamiento del cuadro de BT del CT	1000	[V]	Depende del modelo de armario
UD	Tensión de defecto a tierra	2881,65	[V]	Resultado de [RT-AT x ID]

UC-INT	Tensión de contacto dentro del CT o sobre base del apoyo	0,00	[V]	Despreciable por montaje de mallazo equipotencial
UP-INT	Tensión de paso dentro del CT o sobre base del apoyo	0,00	[V]	embebido en suelo de hormigón puesto a tierra
UC-EXT	Tensión de contacto fuera del CT o de la base del apoyo	0,00	[V]	Se considera nula por el uso de elementos estructurales aislantes (pavimento, muro) y al aislamiento de las partes metálicas de AT que dan al exterior
UP-EXT	Tensión de paso fuera del CT o de la base del apoyo	434,53	[V]	Resultado de $[\rho T \times ID \times KP-EXT-AT]$
UP-ACC	Tensión de paso en el acceso al CT o la base del apoyo	2881,65	[V]	Es equivalente a UD por la presencia del mallazo equipotencial en el suelo del acceso
Condición mínima 1: tensiones producidas menores sus valores máximos admisibles				Cumple <input checked="" type="checkbox"/>
Condición mínima 2: tensión de defecto (UD) inferior al aislamiento eléctrico del cuadro del CT (ACBT)				No cumple <input type="checkbox"/>
Condición mínima 3: densidad de corriente por debajo del umbral de los conductores de tierra				Cumple <input checked="" type="checkbox"/>

4) CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA DE SERVICIO (NEUTRO)

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
UC-BT	Tensión de contacto convencional de referencia	220	[V]	Apartado 9 ITC-BT-18
SDIF-N	Sensibilidad de referencia	0,650	[A]	Valor recomendado en guías técnicas y normas particulares de las empresas distribuidoras
ρT	Resistividad del terreno	325,11	$[\Omega m]$	Valor estimado por proyectista
RT-N-MAX	Resistencia máxima de la tierra del neutro	338,46	$[\Omega]$	Fórmula P.4.1.2 de la ITC-BT 24, resultado de $[UC-BT / SDIF-N]$
CONF-N	Configuración elegida para la puesta a tierra del neutro	5/62	[-]	6 · picas cobrizadas de $\varnothing 14$ [mm] x 2 [m] a 0.5 [m] de profundidad dispuestas en hilera
KR-N	Coefficiente de resistencia	0,073	$[\Omega/\Omega m]$	Tablas metodología UNESA - Anexo II
RT-N	Resistencia de puesta a tierra del neutro	23,73303	$[\Omega]$	Resultado de $[KR-N \times \rho T]$
Condición mínima a cumplir: $RT-N < RT-N-MAX$				Cumple <input checked="" type="checkbox"/>

5) CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA DE UTILIZACIÓN (BAJA TENSIÓN)					
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS	
UC-BT	Tensión de contacto convencional de referencia	220	[V]	Apartado 9 ITC-BT-18	
SDIF-BT	Sensibilidad diferencial de cabecera	0,300	[A]	Valor fijado por proyectista	
ρT	Resistividad del terreno	325,11	$[\Omega/\Omega m]$	Valor estimado por proyectista	
RT-BT-MAX	Resistencia máxima de la tierra de baja tensión	733,3333333	$[\Omega]$	Fórmula P.4.1.2 de la ITC-BT 24, resultado de $[UC-BT / SDIF-BT]$	
CONF-BT	Configuración elegida para la puesta a tierra de BT	5/62	[-]	6 · picas cobrizadas de $\varnothing 14$ [mm] x 2 [m] a 0.5 [m] de profundidad dispuestas en hilera	
KR-BT	Coefficiente de resistencia	0,0730	$[\Omega/\Omega m]$	Tablas metodología UNESA - Anexo II	
RT-BT	Resistencia de puesta a tierra de BT	23,73303	$[\Omega]$	Resultado de $[KR-BT \times \rho T]$	
Condición mínima a cumplir: $RT-BT < RT-BT-MAX$				Cumple <input checked="" type="checkbox"/>	
Condición adicional para unir PAT de BT y neutro (esquema TN): $RT-BT \leq 2 [\Omega]$				No cumple <input type="checkbox"/>	

Nota: Se muestran los parámetros calculados y medidos en campo para evaluar el cumplimiento del sistema de puesta a tierra en el sector Avenida Quito. La tabla integra los valores de resistividad del suelo, resistencia del sistema e intensidad de defecto, permitiendo comparar los resultados con los límites establecidos por la normativa vigente y determinar su configuración.

Tomado de (Ingeniero Solitario, s.f.).

Tabla 7 Cálculo de aprobación Cooperativa Rumiñahui

CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA / LEYENDA DE COLORES
PARÁMETROS CALCULADOS CON FÓRMULAS
VALORES OBTENIDOS EN PASOS ANTERIORES
MEDICIONES TOMADAS EN OBRA (IN SITU)
SE CUMPLEN LOS LÍMITES INDICADOS POR LA NORMATIVA
NO SE CUMPLEN LOS LÍMITES INDICADOS POR LA NORMATIVA
NO APLICA PARA EL PROYECTO CONSIDERADO
1) OBTENCIÓN DE LAS TENSIONES MÁXIMAS ADMISIBLES

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
ESQ-BT	Esquema de puesta a tierra	TT	-	Esquema elegido por el proyectista
ID0	Intensidad de defecto	213,17	[A]	Dato facilitado por la empresa distribuidora
TF	Duración del defecto	0,70	[s]	Dato facilitado por la empresa distribuidora
UCA	Tensión de contacto aplicada admisible	150,00	[V]	Tabla/Figura N°1 de la ITC-RAT 13 (depende de TF)
RA1	Resistencia equivalente del calzado	2000,00	[Ω]	Apartado 1.1 de la ITC-RAT 13
ρT	Resistividad del terreno	233,44	[Ωm]	Valor estimado por el proyectista
HS1	Espesor de la capa superficial (zona 1)	0,50	[m]	Espesor del suelo del CT o de la base del apoyo
ρ*1	Resistividad de la capa superficial (zona 1)	3000,00	[Ωm]	Tabla N°2 de la ITC-RAT 13 (hormigón)
CS1	Coefficiente reductor de la resistividad (zona 1)	0,912	[-]	Fórmula N°3 de la ITC-RAT 13
ρS1	Resistividad superficial aparente del suelo (zona 1)	2736,00	[Ωm]	Resultado de $[\rho^*1 \times CS1]$
HS2	Espesor de la capa superficial (zona 2)	0,05	[m]	Espesor del suelo en la zona de utilización (parking)
ρ*2	Resistividad de la capa superficial (zona 2)	10000,00	[Ωm]	Tabla D.1 IEEE Std 81TM-2012 (asfalto húmedo)
CS2	Coefficiente reductor de la resistividad (zona 2)	0,497	[-]	Fórmula N°3 de la ITC-RAT 13
ρS2	Resistividad superficial aparente del suelo (zona 2)	4970,00	[Ωm]	Resultado de $[\rho^*2 \times CS2]$
UC-INT-MAX1	Tensión de contacto máxima admisible interior (sobre zona 1)	915,60	[V]	Fórmula N°1 de la ITC-RAT 13
UC-INT-MAX2	Tensión de contacto máxima admisible interior (sobre zona 2)	1418,25	[V]	
UC-EXT-MAX	Tensión de contacto máxima admisible exterior (sobre terreno)	352,52	[V]	
UP-INT-MAX1	Tensión de paso máxima admisible interior (sobre zona 1)	32124,00	[V]	Fórmula N°2 de la ITC-RAT 13
UP-INT-MAX2	Tensión de paso máxima admisible interior (sobre zona 2)	52230,00	[V]	
UP-EXT-MAX	Tensión de paso máxima admisible exterior (sobre terreno)	9600,96	[V]	

UP-ACC-MAX1	Tensión de paso máxima admisible en acceso (terreno/zona 1)	20862,48	[V]	
UP-ACC-MAX2	Tensión de paso máxima admisible en acceso (terreno/zona 2)	30915,48	[V]	

2) DISEÑO DE LA PUESTA A TIERRA DE HERRAJES (ALTA TENSIÓN)

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
ID0	Intensidad de defecto	213,17	[A]	Dato facilitado por la empresa distribuidora
rE	Reducción por la puesta a tierra de la pantalla de los cables	0,73	[-]	Obtenido de la Guía-BT-18 (ED: Oct 05 / REV: 1) o estimado mediante el teorema de Thévenin
ID	Intensidad de defecto corregida (también denominada IE)	155,61	[A]	Resultado de [ID0 x rE]
ρT	Resistividad del terreno	233,44	[Ωm]	Valor estimado por proyectista
CONF-AT	Configuración elegida para la puesta a tierra de AT	80-40/8/82	[-]	8 · picas cobrizadas de ø14 [mm] x 2 [m] a 0.8 [m] de profundidad dispuestas en anillo de 8x4 [m] y unidas por conductor desnudo de 50 [mm ²]
KR-AT	Coefficiente de resistencia	0,0630	[Ω/Ωm]	Tablas metodología UNESA - Anexo II
KP-INT/EXT-AT	Coefficiente de paso interior/exterior	0,0095	[Ω/(Ωm·A)]	
KP/C-ACC/EXT-AT	Coefficiente de paso acceso y de contacto exterior	0,0277	[Ω/(Ωm·A)]	
RT-AT	Resistencia de puesta a tierra de AT	14,70672	[Ω]	Resultado de [KR x ρT]
UL	Tensión límite transmitible en función del esquema de la PAT	1200	[V]	Fórmula P.11 de la ITC-BT-18
D	Separación mínima de la PAT de AT con PAT de neutro y BT	4,82	[m]	
DC-PAT	Densidad de corriente sufrida por los conductores de tierra	3,11	[-]	Para una sección de 50 [mm ²], resultado de [ID/50]
MEC	Material empleado para los conductores de tierra	Cobre	[-]	Para determinar la densidad de corriente máxima

DC-PAT-MAX	Densidad de corriente máxima acorde a normativa	160	[-]	Apartado 3.1 de la ITC-RAT 13 (depende de MEC)
-------------------	---	-----	-----	--

3) COMPROBACIÓN DE LAS TENSIONES DE CONTACTO, PASO Y DEFECTO

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
ACBT	Aislamiento del cuadro de BT del CT	1000	[V]	Depende del modelo de armario
UD	Tensión de defecto a tierra	2288,57	[V]	Resultado de $[RT-AT \times ID]$
UC-INT	Tensión de contacto dentro del CT o sobre base del apoyo	0,00	[V]	Despreciable por montaje de mallazo equipotencial
UP-INT	Tensión de paso dentro del CT o sobre base del apoyo	0,00	[V]	embebido en suelo de hormigón puesto a tierra
UC-EXT	Tensión de contacto fuera del CT o de la base del apoyo	0,00	[V]	Se considera nula por el uso de elementos estructurales aislantes (pavimento, muro) y al aislamiento de las partes metálicas de AT que dan al exterior
UP-EXT	Tensión de paso fuera del CT o de la base del apoyo	345,10	[V]	Resultado de $[\rho T \times ID \times KP-EXT-AT]$
UP-ACC	Tensión de paso en el acceso al CT o la base del apoyo	2288,57	[V]	Es equivalente a UD por la presencia del mallazo equipotencial en el suelo del acceso
Condición mínima 1: tensiones producidas menores sus valores máximos admisibles				Cumple <input checked="" type="checkbox"/>
Condición mínima 2: tensión de defecto (UD) inferior al aislamiento eléctrico del cuadro del CT (ACBT)				No cumple <input type="checkbox"/>
Condición mínima 3: densidad de corriente por debajo del umbral de los conductores de tierra				Cumple <input checked="" type="checkbox"/>

4) CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA DE SERVICIO (NEUTRO)

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
UC-BT	Tensión de contacto convencional de referencia	220	[V]	Apartado 9 ITC-BT-18
SDIF-N	Sensibilidad de referencia	0,650	[A]	Valor recomendado en guías técnicas y normas particulares de las empresas distribuidoras

ρT	Resistividad del terreno	233,44	[Ωm]	Valor estimado por proyectista
RT-N-MAX	Resistencia máxima de la tierra del neutro	338,46	[Ω]	Fórmula P.4.1.2 de la ITC-BT 24, resultado de [UC-BT / SDIF-N]
CONF-N	Configuración elegida para la puesta a tierra del neutro	8/42	[-]	4 · picas cobrizadas de $\varnothing 14$ [mm] x 2 [m] a 0.8 [m] de profundidad dispuestas en hilera
KR-N	Coefficiente de resistencia	0,1	[$\Omega/\Omega m$]	Tablas metodología UNESA - Anexo II
RT-N	Resistencia de puesta a tierra del neutro	23,344	[Ω]	Resultado de [KR-N x ρT]
Condición mínima a cumplir: RT-N < RT-N-MAX				Cumple <input checked="" type="checkbox"/>

5) CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA DE UTILIZACIÓN (BAJA TENSIÓN)

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
UC-BT	Tensión de contacto convencional de referencia	220	[V]	Apartado 9 ITC-BT-18
SDIF-BT	Sensibilidad del diferencial de cabecera	0,300	[A]	Valor fijado por proyectista
ρT	Resistividad del terreno	233,44	[$\Omega/\Omega m$]	Valor estimado por proyectista
RT-BT-MAX	Resistencia máxima de la tierra de baja tensión	733,3333333	[Ω]	Fórmula P.4.1.2 de la ITC-BT 24, resultado de [UC-BT / SDIF-BT]
CONF-BT	Configuración elegida para la puesta a tierra de BT	8/42	[-]	4 · picas cobrizadas de $\varnothing 14$ [mm] x 2 [m] a 0.8 [m] de profundidad dispuestas en hilera
KR-BT	Coefficiente de resistencia	0,1000	[$\Omega/\Omega m$]	Tablas metodología UNESA - Anexo II
RT-BT	Resistencia de puesta a tierra de BT	23,344	[Ω]	Resultado de [KR-BT x ρT]
Condición mínima a cumplir: RT-BT < RT-BT-MAX				Cumple <input checked="" type="checkbox"/>
Condición adicional para unir PAT de BT y neutro (esquema TN): RT-BT \leq 2 [Ω]				No cumple <input type="checkbox"/>

Nota: Se evidencia que esta configuración favorece una actuación rápida y efectiva de las protecciones eléctricas. Los resultados confirman que la optimización del diseño del sistema de puesta a tierra constituye una alternativa técnica viable para el desempeño del sistema sin necesidad de recurrir a soluciones excesivamente complejas. Tomado de (Ingeniero Solitario, s.f.).

Tabla 8 Cálculo de aprobación Cooperativa Heriberto Maldonado

CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA / LEYENDA DE COLORES				
PARÁMETROS CALCULADOS CON FÓRMULAS				
VALORES OBTENIDOS EN PASOS ANTERIORES				
MEDICIONES TOMADAS EN OBRA (IN SITU)				
SE CUMPLEN LOS LÍMITES INDICADOS POR LA NORMATIVA				
NO SE CUMPLEN LOS LÍMITES INDICADOS POR LA NORMATIVA				
NO APLICA PARA EL PROYECTO CONSIDERADO				
1) OBTENCIÓN DE LAS TENSIONES MÁXIMAS ADMISIBLES				
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
ESQ-BT	Esquema de puesta a tierra	TT	-	Esquema elegido por el proyectista
IDO	Intensidad de defecto	213,17	[A]	Dato facilitado por la empresa distribuidora
TF	Duración del defecto	0,70	[s]	Dato facilitado por la empresa distribuidora
UCA	Tensión de contacto aplicada admisible	150,00	[V]	Tabla/Figura N°1 de la ITC-RAT 13 (depende de TF)
RA1	Resistencia equivalente del calzado	2000,00	[Ω]	Apartado 1.1 de la ITC-RAT 13
ρT	Resistividad del terreno	178,02	[Ωm]	Valor estimado por el proyectista
HS1	Espesor de la capa superficial (zona 1)	0,50	[m]	Espesor del suelo del CT o de la base del apoyo
ρ*1	Resistividad de la capa superficial (zona 1)	3000,00	[Ωm]	Tabla N°2 de la ITC-RAT 13 (hormigón)
CS1	Coefficiente reductor de la resistividad (zona 1)	0,910	[-]	Fórmula N°3 de la ITC-RAT 13
ρS1	Resistividad superficial aparente del suelo (zona 1)	2730,00	[Ωm]	Resultado de $[\rho^*1 \times CS1]$
HS2	Espesor de la capa superficial (zona 2)	0,05	[m]	Espesor del suelo en la zona de utilización (parking)
ρ*2	Resistividad de la capa superficial (zona 2)	10000,00	[Ωm]	Tabla D.1 IEEE Std 81TM-2012 (asfalto húmedo)
CS2	Coefficiente reductor de la resistividad (zona 2)	0,495	[-]	Fórmula N°3 de la ITC-RAT 13

$\rho S2$	Resistividad superficial aparente del suelo (zona 2)	4950,00	[Ωm]	Resultado de [$\rho^2 \times CS2$]
UC-INT-MAX1	Tensión de contacto máxima admisible interior (sobre zona 1)	914,25	[V]	Fórmula N°1 de la ITC-RAT 13
UC-INT-MAX2	Tensión de contacto máxima admisible interior (sobre zona 2)	1413,75	[V]	
UC-EXT-MAX	Tensión de contacto máxima admisible exterior (sobre terreno)	340,05	[V]	
UP-INT-MAX1	Tensión de paso máxima admisible interior (sobre zona 1)	32070,00	[V]	Fórmula N°2 de la ITC-RAT 13
UP-INT-MAX2	Tensión de paso máxima admisible interior (sobre zona 2)	52050,00	[V]	
UP-EXT-MAX	Tensión de paso máxima admisible exterior (sobre terreno)	9102,18	[V]	
UP-ACC-MAX1	Tensión de paso máxima admisible en acceso (terreno/zona 1)	20586,09	[V]	
UP-ACC-MAX2	Tensión de paso máxima admisible en acceso (terreno/zona 2)	30576,09	[V]	

2) DISEÑO DE LA PUESTA A TIERRA DE HERRAJES (ALTA TENSIÓN)

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
ID0	Intensidad de defecto	213,17	[A]	Dato facilitado por la empresa distribuidora
rE	Reducción por la puesta a tierra de la pantalla de los cables	0,78	[-]	Obtenido de la Guía-BT-18 (ED: Oct 05 / REV: 1) o estimado mediante el teorema de Thévenin
ID	Intensidad de defecto corregida (también denominada IE)	166,27	[A]	Resultado de [$ID0 \times rE$]
ρT	Resistividad del terreno	178,02	[Ωm]	Valor estimado por proyectista
CONF-AT	Configuración elegida para la puesta a tierra de AT	80-40/8/82	[-]	8 · picas cobrizadas de $\varnothing 14$ [mm] x 2 [m] a 0.8 [m] de profundidad dispuestas en anillo de 8x4 [m] y unidas

					por conductor desnudo de 50 [mm ²]
KR-AT	Coeficiente de resistencia	0,0630	[Ω/Ωm]		Tablas metodología UNESA - Anexo II
KP-INT/EXT-AT	Coeficiente de paso interior/exterior	0,0095	[Ω/(Ωm·A)]		
KP/C-ACC/EXT-AT	Coeficiente de paso acceso y de contacto exterior	0,0277	[Ω/(Ωm·A)]		
RT-AT	Resistencia de puesta a tierra de AT	11,21526	[Ω]		Resultado de [KR x ρT]
UL	Tensión límite transmitible en función del esquema de la PAT	1200	[V]		Fórmula P.11 de la ITC-BT-18
D	Separación mínima de la PAT de AT con PAT de neutro y BT	3,93	[m]		
DC-PAT	Densidad de corriente sufrida por los conductores de tierra	3,33	[-]		Para una sección de 50 [mm ²], resultado de [ID/50]
MEC	Material empleado para los conductores de tierra	Cobre	[-]		Para determinar la densidad de corriente máxima
DC-PAT-MAX	Densidad de corriente máxima acorde a normativa	160	[-]		Apartado 3.1 de la ITC-RAT 13 (depende de MEC)

3) COMPROBACIÓN DE LAS TENSIONES DE CONTACTO, PASO Y DEFECTO

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
ACBT	Aislamiento del cuadro de BT del CT	1000	[V]	Depende del modelo de armario
UD	Tensión de defecto a tierra	1864,79	[V]	Resultado de [RT-AT x ID]
UC-INT	Tensión de contacto dentro del CT o sobre base del apoyo	0,00	[V]	Despreciable por montaje de mallazo equipotencial
UP-INT	Tensión de paso dentro del CT o sobre base del apoyo	0,00	[V]	embebido en suelo de hormigón puesto a tierra
UC-EXT	Tensión de contacto fuera del CT o de la base del apoyo	0,00	[V]	Se considera nula por el uso de elementos estructurales aislantes (pavimento, muro) y al aislamiento de las partes metálicas de AT que dan al exterior

UP-EXT	Tensión de paso fuera del CT o de la base del apoyo	281,20	[V]	Resultado de $[\rho T \times ID \times KP-EXT-AT]$
UP-ACC	Tensión de paso en el acceso al CT o la base del apoyo	1864,79	[V]	Es equivalente a UD por la presencia del mallazo equipotencial en el suelo del acceso

Condición mínima 1: tensiones producidas menores sus valores máximos admisibles Cumple

Condición mínima 2: tensión de defecto (UD) inferior al aislamiento eléctrico del cuadro del CT (ACBT) No cumple

Condición mínima 3: densidad de corriente por debajo del umbral de los conductores de tierra Cumple

4) CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA DE SERVICIO (NEUTRO)

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
UC-BT	Tensión de contacto convencional de referencia	220	[V]	Apartado 9 ITC-BT-18
SDIF-N	Sensibilidad de referencia	0,650	[A]	Valor recomendado en guías técnicas y normas particulares de las empresas distribuidoras
ρT	Resistividad del terreno	178,02	$[\Omega m]$	Valor estimado por proyectista
RT-N-MAX	Resistencia máxima de la tierra del neutro	338,46	$[\Omega]$	Fórmula P.4.1.2 de la ITC-BT 24, resultado de $[UC-BT / SDIF-N]$
CONF-N	Configuración elegida para la puesta a tierra del neutro	5/32	[-]	3 · picas cobrizadas de $\varnothing 14$ [mm] x 2 [m] a 0.5 [m] de profundidad dispuestas en hilera
KR-N	Coefficiente de resistencia	0,135	$[\Omega/\Omega m]$	Tablas metodología UNESA - Anexo II
RT-N	Resistencia de puesta a tierra del neutro	24,0327	$[\Omega]$	Resultado de $[KR-N \times \rho T]$
Condición mínima a cumplir: $RT-N < RT-N-MAX$				Cumple <input checked="" type="checkbox"/>

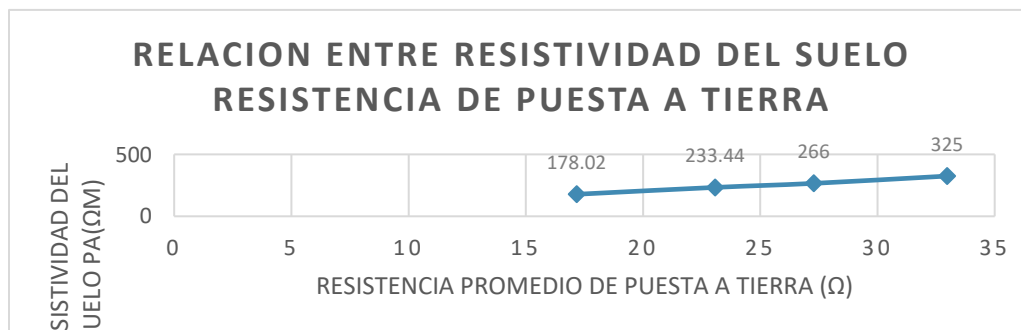
5) CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA DE UTILIZACIÓN (BAJA TENSIÓN)

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	ACLARACIONES Y FUENTES CONSULTADAS
UC-BT	Tensión de contacto convencional de referencia	220	[V]	Apartado 9 ITC-BT-18

SDIF-BT	Sensibilidad diferencial de cabecera	del de	0,300	[A]	Valor fijado por proyectista
ρT	Resistividad terreno	del	178,02	[$\Omega/\Omega m$]	Valor estimado por proyectista
RT-BT-MAX	Resistencia máxima de la tierra de baja tensión		733,3333333	[Ω]	Fórmula P.4.1.2 de la ITC-BT 24, resultado de [UC-BT / SDIF-BT]
CONF-BT	Configuración elegida para la puesta a tierra de BT		5/32	[-]	3 · picas cobrizadas de $\varnothing 14$ [mm] x 2 [m] a 0.5 [m] de profundidad dispuestas en hilera
KR-BT	Coefficiente de resistencia	de	0,1350	[$\Omega/\Omega m$]	Tablas metodología UNESA - Anexo II
RT-BT	Resistencia de puesta a tierra de BT		24,0327	[Ω]	Resultado de [KR-BT x ρT]
Condición mínima a cumplir: RT-BT < RT-BT-MAX					Cumple <input checked="" type="checkbox"/>
Condición adicional para unir PAT de BT y neutro (esquema TN): RT-BT \leq 2 [Ω]					No cumple <input type="checkbox"/>

Nota: En este resultado se evidencia el escenario más favorable desde el punto de vista de la seguridad eléctrica, ya que la configuración analizada permite obtener una resistencia de puesta a tierra reducida y una corriente de defecto suficiente para garantizar una actuación rápida. Este comportamiento confirma que un diseño adecuado del sistema de puesta a tierra, basado en las características reales del terreno, contribuye de manera significativa a mejorar la confiabilidad del sistema y a reducir el riesgo de tensiones peligrosas para las personas y los equipos. Tomado de (Ingeniero Solitario, s.f.).

Figura 5 Relación entre resistividad del suelo resistencia de puesta a tierra



Nota: La comparación global permite observar diferencias claras entre los distintos sectores del cantón Santo Domingo. Los resultados evidencian que no existe un comportamiento

uniforme del suelo, ya que cada zona presenta características propias que influyen directamente en la resistencia final del sistema de puesta a tierra. Esta gráfica consolida la correlación planteada en la investigación y demuestra que el diseño debe ser específico para cada ubicación, considerando la resistividad real del terreno como parámetro principal.

Tabla 9 *Coordenadas y Altitud*

Ubicación	Latitud	Longitud	Elevación (m s. n. m.)
1	-0.210900	-79.197258	494
2	-0.246357	-79.147012	591
3	-0.269677	-79.174224	537
4	-0.243874	-79.201003	498

Nota: La tabla registra las coordenadas geográficas y la altitud de cada ubicación evaluada, permitiendo georreferenciar con precisión los puntos de medición dentro del cantón Santo Domingo. Esta información respalda la trazabilidad del estudio y facilita futuras comparaciones o réplicas de las mediciones, además de contextualizar los resultados eléctricos en función de la ubicación y características físicas del terreno.

Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian una variabilidad significativa en los valores de resistividad del suelo entre los distintos sectores analizados del cantón Santo Domingo. Esta variación confirma que el comportamiento eléctrico del terreno depende directamente de factores como la composición del suelo, el contenido de humedad y las condiciones geográficas locales, lo cual coincide con lo reportado en investigaciones previas a nivel nacional e internacional. Al comparar los sectores evaluados, se observa que aquellos con menores valores de resistividad presentan condiciones más favorables para la disipación de corrientes de falla, lo que permite el diseño de sistemas de puesta a tierra más eficientes y con configuraciones relativamente simples. En contraste, los sectores con resistividades elevadas evidencian mayores dificultades para alcanzar valores aceptables de resistencia de puesta a tierra, requiriendo configuraciones más complejas, tales como el incremento del número de electrodos, mayor profundidad de enterramiento o el uso de técnicas de mejoramiento del suelo.

La relación directa entre la resistividad del suelo y la resistencia de puesta a tierra queda claramente reflejada en los resultados obtenidos, evidenciando que un incremento en la resistividad del terreno conlleva un aumento en la resistencia final del sistema de puesta a tierra. Este comportamiento valida el cumplimiento del objetivo específico orientado a analizar la influencia de la resistividad del suelo en el desempeño teórico de los sistemas de puesta a tierra, así como la hipótesis planteada respecto a la correlación entre ambas variables. Asimismo, los resultados permiten interpretar que el uso de valores teóricos o genéricos de resistividad del suelo puede conducir a diseños inadecuados de sistemas de puesta a tierra, especialmente en zonas donde el terreno presenta alta heterogeneidad. En este sentido, la caracterización local del suelo mediante el método Wenner resulta fundamental para obtener parámetros representativos que permitan un diseño más preciso y seguro de estos sistemas.

Es importante destacar que los valores de resistencia de puesta a tierra analizados corresponden a simulaciones teóricas basadas en los valores de resistividad aparente medidos en campo. Por lo tanto, estos resultados representan escenarios de diseño y no mediciones directas de sistemas de puesta a tierra instalados, lo cual debe ser considerado al interpretar los resultados y al extrapolarlos a aplicaciones prácticas. Finalmente, el análisis realizado demuestra que no es técnicamente recomendable aplicar soluciones estandarizadas para el diseño de sistemas de puesta a tierra en el cantón Santo Domingo, debido a la variabilidad significativa del terreno. En consecuencia, se resalta la necesidad de realizar estudios específicos de resistividad del suelo en cada proyecto eléctrico, con el fin de garantizar el cumplimiento de la normativa eléctrica vigente y asegurar condiciones adecuadas de seguridad y confiabilidad en las instalaciones.

Conclusiones

Los resultados obtenidos a partir de las mediciones y cálculos realizados permiten establecer una relación directa entre la resistividad del suelo y el desempeño del sistema de puesta a tierra. Al comparar los valores calculados con las tablas de referencia de resistividad

del suelo, se determinó que los sectores correspondientes a los cálculos 1 y 2 presentan características propias de suelos de alta resistividad, asociados generalmente a terrenos secos o de baja conductividad, mientras que el sector del cálculo 4 corresponde a un suelo de baja resistividad, típico de terrenos más húmedos o con mejor conductividad natural. El análisis comparativo evidencia que los suelos con resistividad elevada generan resistencias de puesta a tierra mayores y corrientes de defecto reducidas, lo que afecta negativamente al presupuesto de cada proyecto eléctrico, debido al incremento en materiales y configuración del sistema de puesta a tierra. En contraste, los suelos con menor resistividad permiten resistencias de puesta a tierra más bajas y corrientes de defecto más elevadas, favoreciendo una desconexión rápida y segura ante fallas, lo que incrementa la seguridad de las personas y de las instalaciones eléctricas.

En el caso de suelos con valores intermedios de resistividad, como el correspondiente al cálculo 3, se observa un comportamiento aceptable del sistema de puesta a tierra; sin embargo, los resultados indican que es necesario aplicar mejoras de diseño para garantizar márgenes de seguridad adecuados, especialmente ante variaciones ambientales como cambios de humedad o condiciones climáticas adversas. Desde el punto de vista económico, los resultados demuestran que los suelos de alta resistividad implican un mayor costo de implementación de los sistemas de puesta a tierra, debido a la necesidad de utilizar un mayor número de electrodos, incrementar la profundidad de enterramiento, ampliar el área de construcción y emplear mayores longitudes de conductores de interconexión. En conjunto, el estudio confirma la importancia de realizar mediciones previas de resistividad del suelo y de comparar los valores obtenidos con tablas de referencia, ya que esta información resulta fundamental para seleccionar el tipo de sistema de puesta a tierra más adecuado, optimizar los costos de implementación y garantizar condiciones seguras y confiables en las instalaciones eléctricas.

Referencias bibliográficas

- Chávez Valverth, R. D. (2004). Análisis comparativo de los métodos de medición de resistencia en los sistemas de puesta a tierra. Universidad de San Carlos de Guatemala, 46-48.
- Coronel Naranjo, C. G. (2021). Diseño y evaluación de configuraciones de puesta a tierra en diferentes tipos de suelo empleando materiales de baja resistividad . Universidad Politécnica Salesiana.
- Cuñez Uvidia, J. A. (2015). Comportamiento de la resistividad eléctrica de los suelos ante variaciones de humedad y grado de compactación.
- Group Megger. (s.f.). COMULSA PERU. Obtenido de https://comulsa.pe/wp-content/uploads/2021/01/DET4TC2_DET4TCR2_DS_es.pdf
- IEEE Std 80. (2013). Guide for Safety in AC Substation Grounding. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- IEEE Std 81. (2012). Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Ingeniero Solitario. (s.f.). AUTOCONSUMO Y AUTARQUÍA. Obtenido de AUTOCONSUMO Y AUTARQUÍA: <https://autarquiapersonal.com/2024/03/09/hoja-excel-para-el-diseno-de-la-puesta-a-tierra-de-un-suministro-conectado-en-alta-tension/>
- Juan J. Martinez Requena, J. C. (2002). Puesta A Tierra en Edificios y en Instalaciones Elécticas. España: Thompson Editors Spain.
- Muñoz Castelblanco, J., Pereira, J.-M., Delage, P., & Cui, Y. J. (2013). The influence of changes in water content on the electrical resistivity of a natural unsaturated loess.
- Ramírez Castaño, S. &. (2010). Sistemas de Puesta a Tierra: Diseñado con IEEE 80 y evaluado con Métodos de Elementos Finitos (MEF). Universidad Nacional de Colombia.
- Reyes Fernández, I. (2018). Diseño de un sistema de puesta a tierra en una subestación. Universidad Nacional Autónoma de México, 22-24.
- SANZ A., J. D. (2010). RESISTIVIDAD DEL SUELO EN FUNCION DE LA FRECUENCIA. Scientia Et Technica, 1-6.
- Tiuquinga, M. P. (2010). SISTEMA PUESTA A TIERRA PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, 19-20.
-