

**COMPROBACIÓN DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA MEDIANTE SOFTWARE**

**CHECK OF GROUNDING SYSTEMS BY MEANS OF SOFTWARE**

**VERIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE ATERRAMENTO POR MEIO DE SOFTWARE**

---

**Resumen**

Un sistema de puesta a tierra (SPT), está destinado a garantizar la integridad de las instalaciones eléctricas y de sus usuarios ante eventuales fallas, brindando seguridad y continuidad de servicio. Para el presente estudio, se implementó un SPT, el cual fue dimensionado, sometido a medición experimental y comprobado mediante simulación en el software ETAP; obteniéndose en los tres casos una resistencia promedio aproximada de  $8 \Omega$ , valor que se encuentra dentro de los parámetros estipulados en la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC). De esta manera se tiene una metodología eficiente, la cual emplea el modelo matemático de elementos finitos para obtener el valor de resistencia de los SPT, dicha metodología permite adicionalmente proyectar la variación de resistencia ante escenarios futuros como lo son el cambio característico de los suelos y la degradación de los materiales, lo cual aporta el propósito de obtener una vida útil más prolongada en los sistemas.

**Mgs. Diego Monga Sánchez**  
[diego.monga9964@utc.edu.ec](mailto:diego.monga9964@utc.edu.ec)  
Universidad Técnica de  
Cotopaxi,  
Orcid: [0000-0002-7668-5793](https://orcid.org/0000-0002-7668-5793)

**REVISTA TSE'DE**  
Instituto Superior Tecnológico  
Tsa'chila  
ISSN: 2600-5557

**Palabras claves:** Sistemas de Puesta a Tierra, ETAP, Elementos Finitos, Telurómetro.

## Abstract

A grounding system (SPT) is intended to guarantee the integrity of electrical installations and their users in the event of failures, providing security and continuity of service. For the present study, an SPT was implemented, which was sized, subjected to experimental measurement and verified by simulation in the ETAP software; obtaining in all three cases an approximate average resistance of  $8 \Omega$ , a value that is within the parameters stipulated in the Ecuadorian Construction Standard (NEC). In this way, there is an efficient methodology, which uses the mathematical model of finite elements to obtain the resistance value of the SPT, this methodology additionally allows projecting the resistance variation in future scenarios such as the characteristic change of the soils and the degradation of materials, which provides the purpose of obtaining a longer useful life in the systems.

**Keywords:** Grounding Systems, ETAP, Finite Elements, Tellurometer.

## Resumo

Um sistema de aterramento (SPT) tem como objetivo garantir a integridade das instalações elétricas e de seus usuários em caso de falhas, proporcionando segurança e continuidade do serviço. Para o presente estudo foi implementado um SPT dimensionado, submetido a medição experimental e verificado por simulação no software ETAP; obtendo nos três casos uma resistência média aproximada de  $8 \Omega$ , valor que está dentro dos parâmetros estipulados na Norma Equatoriana de Construção (NEC). Desta forma, existe uma metodologia eficiente, que utiliza o modelo matemático de elementos finitos para obter o valor de resistência do SPT, esta metodologia permite adicionalmente projetar a variação de resistência em cenários futuros como a mudança característica dos solos e a degradação de materiais, o que tem como objetivo obter maior vida útil nos sistemas.

**Palavras-chave:** Sistemas de Aterramento, ETAP, Elementos Finitos, Telurômetro.

## Periodicidad Semestral

Vol. 6, núm. 2

[revistatsede@tsachila.edu.ec](mailto:revistatsede@tsachila.edu.ec)

**Recepción:** 16 de febrero - 2023

**Aprobación:** 26 de mayo - 2023

**Publicación:** 30 de junio - 2023

## URL:

<http://tsachila.edu.ec/ojs/index.php/TSEDE/issue/archive>

Revista Tse'de, Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.



## **Introducción**

La constante evolución industrial demanda la necesidad de tener sistemas eléctricos seguros y eficientes para el buen funcionamiento de equipos y seguridad del usuario, por lo que es indispensable disponer de sistemas puesta a tierra eficientes, cuyo propósito fundamental es limitar la tensión con respecto al suelo, de manera que se pueda evitar la aparición de diferencias de potencial peligrosas, dando las facilidades para que las corrientes de falla sean conducidas a tierra (INGESCO, 2020).

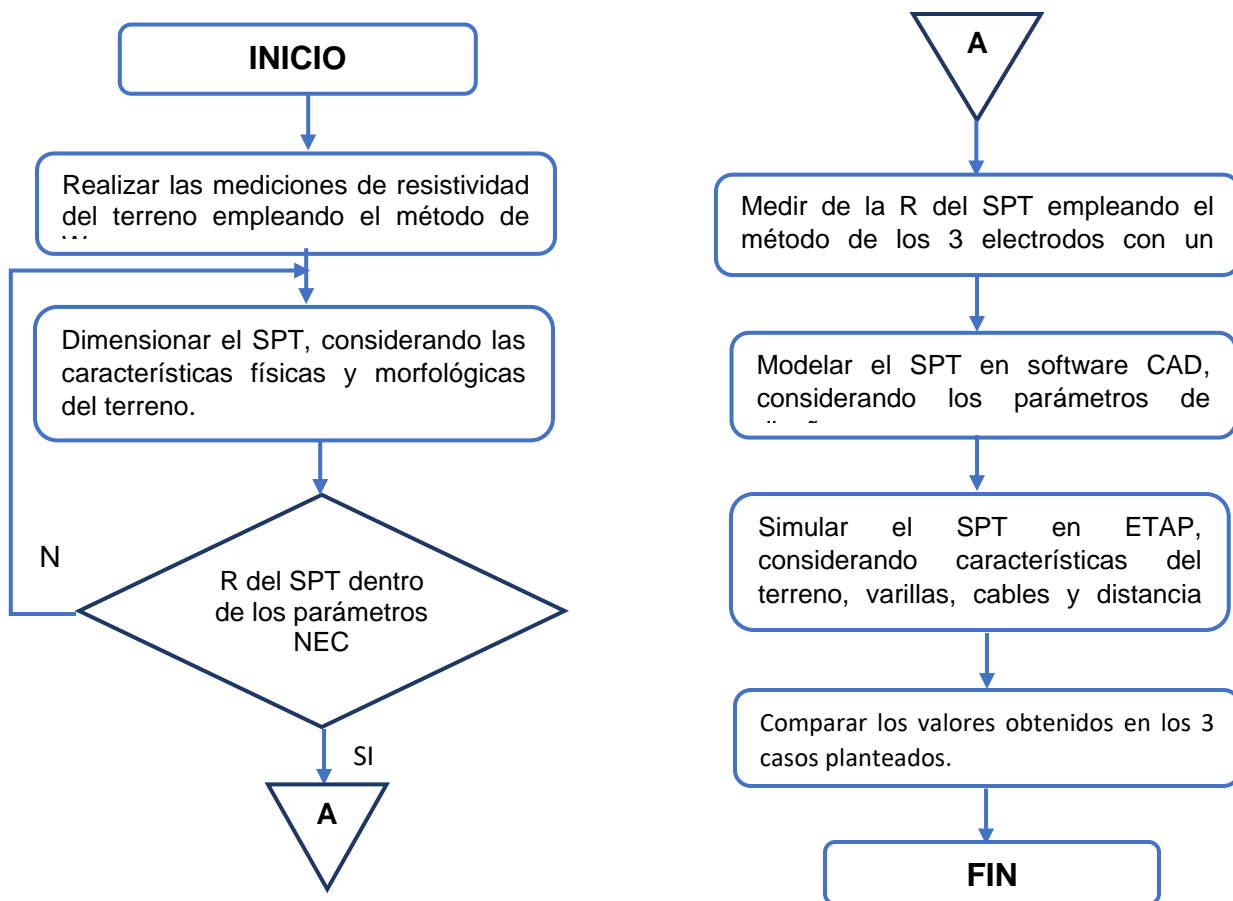
Durante el diseño de un SPT, se consideran los parámetros existentes al momento de la implementación; referentes al tipo y características del suelo, así como las cualidades de materiales como conductores eléctricos y electrodos, sin embargo, el valor obtenido del diseño para un sistema puede diferir en cuanto al valor medido experimentalmente por lo que se requiere una metodología adicional de comprobación.

En dicho contexto es eficiente el uso del software ETAP, el cual permite mediante métodos computacionales, puntualmente el método de los elementos finitos; establecer un modelo matemático; para simular y corroborar los valores obtenidos durante el diseño y la comprobación experimental de un SPT (ETAP, 2018).

Usualmente, durante la construcción de un SPT; se limitan al dimensionamiento teórico y a la comprobación experimental, por lo cual en el presente documento se presenta una propuesta adicional de análisis en software, para un sistema el cual será dimensionado teóricamente, evaluado empleando un equipo de medición telurómetro y finalmente comprobado mediante simulación en ETAP, para establecer si el mismo se encuentra dentro de los valores establecidos en la normativa vigente (MIDUVI, 2015).

## Materiales y Métodos

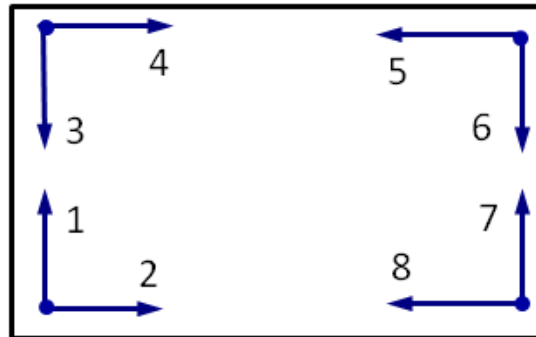
La metodología de análisis empleada consistió en 4 etapas contiguas; en la etapa inicial se efectuó la medición de la resistividad del terreno, en la segunda etapa se dimensionó y seleccionó los componentes necesarios para el SPT, en la tercera etapa se implementó el sistema y se lo sometió a medición experimental, y finalmente en la cuarta etapa se simuló y comparó los valores obtenidos para el sistema en las etapas anteriores. En el flujograma de la **gráfica N° 1** se detalla la ejecución del proceso.



Gráfica N° 1: Flujograma del proceso

### A. Medición de la resistividad del terreno

En la **gráfica N° 2** se observa la distribución de las mediciones de resistividad del suelo realizadas a lo largo del terreno con un telurómetro marca ZAMTSU serie 4235 ER, empleándose para ello el método de Wenner (Reyes & Cruz, 2016).



Gráfica N° 2: Distribución de mediciones de resistividad del suelo

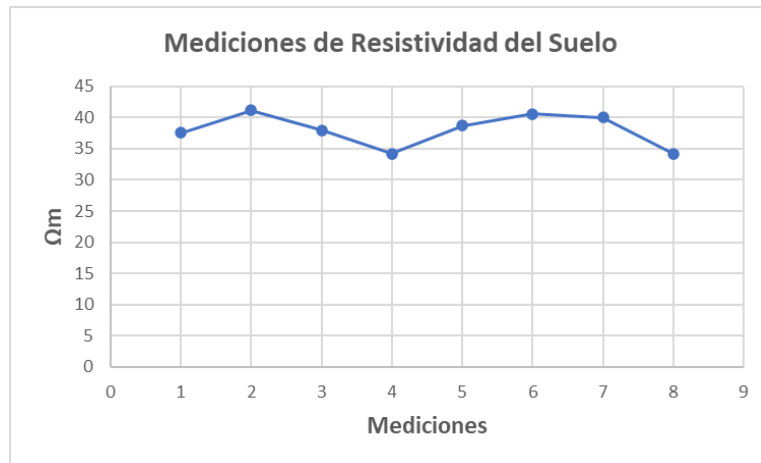
En la tabla 1 se presenta los resultados obtenidos, en donde se observa una ligera variación entre mediciones, por lo que se considera un suelo homogéneo. Así mismo en la gráfica N° 3 se observa la tendencia de lineal que presentó el proceso.

**Tabla 1.**

Resultados obtenidos de la medición de resistividad del terreno

MEDICIÓN	RESISTIVIDAD DEL TERRENO ( $\Omega m$ )
1	37,58
2	41,18
3	37,96
4	34,18
5	38,71
6	40,60
7	40,03
8	34,18
PROMEDIO	38,05

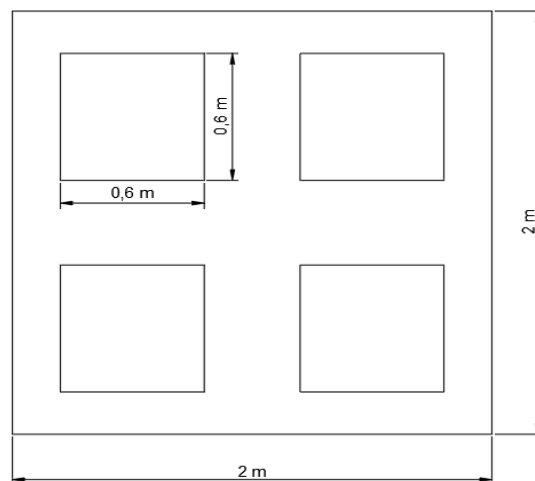
Elaborado por: Autor



Gráfica N° 3: Variación de la resistividad del suelo

### B. Dimensionamiento del sistema de puesta a tierra

Para el estudio se ha propuesto implementar un SPT en configuración anillo, ocupando un área de  $2\text{m}^2$ , a una profundidad de 0,8 m. El mismo que estará conformado por cuatro pozos de  $0,6 \times 0,6 \times 0,80$  m (ver gráfica N° 4), acorde a la norma NEC.



Gráfica N° 41. Disposición de pozos en el SPT

De manera que se procede a calcular la resistencia del sistema proyectado en base a los parámetros establecidos empleando las ecuaciones 2 y 3 (UVA, 2016):

Datos Técnicos:

$R_A$ : Resistencia de anillo de tierra ( $\Omega$ )

$\rho_E$ : Resistividad del suelo ( $\Omega m$ )

$d$ : Diámetro del anillo ( $d$ )

$$d = 1,13\sqrt{A} \quad (2)$$

$$d = 1,13\sqrt{4m^2}$$

$$d = 2,26m$$

$$R_A = \frac{\rho_E}{2d} \quad (3)$$

$$R_A = \frac{38,05 \Omega m}{(2,26m)}$$

$$R_A = 8,41 \Omega$$

Se puede observar que el valor de resistencia obtenido es menor a  $10 \Omega$  cumpliendo con lo estipulado para sistemas de baja tensión en la norma NEC.

Una vez dimensionado, se procede a implementar el sistema compuesto por 4 varillas coperweld de  $1,8 m \times 3/8$ , conductor de cobre desnudo AWG 1/0 de 19 hilos, mejorante de suelos y soldadura exotérmica como se observa en la gráfica N° 5.



Gráfica N° 52. Disposición de pozos en el SPT



Posteriormente se procedió a conexionar las tomas a tierra en la caja principal de la industria beneficiada con el SPT, ver gráfica N° 6.



Gráfica N° 63. Conexión de tomas de tierra

### **C. Medición experimental del sistema de puesta a tierra**

Una vez implementado el sistema, se procedió a someterlo a medición experimental empleando el método de la caída de potencial (ISSUU, 2022) mediante 11 mediciones con un telurómetro marca ZAMTSU serie 4235 ER como se muestra en la gráfica N° 7.



Gráfica N° 74. Medición del SPT



En la tabla 2 se puede apreciar los valores obtenidos de las mediciones efectuadas al sistema de puesta a tierra implementado.

**Tabla 2.**

Mediciones de resistencia del SPT

DISTANCIA [m]	RESISTENCIA [ $\Omega$ ]
1	2,99
2	3,96
3	4,60
4	5,06
5	5,47
6	5,73
7	6,50
8	6,52
9	6,92
10	7,90
11	10,52

Elaborado por: Autor

En la gráfica N° 8 se observa la tendencia de las mediciones efectuadas al sistema, determinándose que las mediciones entre 6 y 8 metros presentan estabilidad.



Gráfica N° 85. Tendencia de mediciones de resistencia del SPT

A continuación, se emplea la ecuación 4 para determinar el promedio de dichos valores y el resultado obtenido será la primera aproximación al valor de resistencia del SPT.

$$R_T = \frac{\sum \text{Resistencias Medidas}}{\text{Número de datos}} \quad (4)$$

$$R_T = \frac{6,04+6,52+6,92}{3}$$

$$R_T = 6,5 [\Omega]$$

Posteriormente se emplea el método del 62% mediante la ecuación 5 (ISSUU, 2022), para determinar el valor de distancia que corresponde a dicho porcentaje.

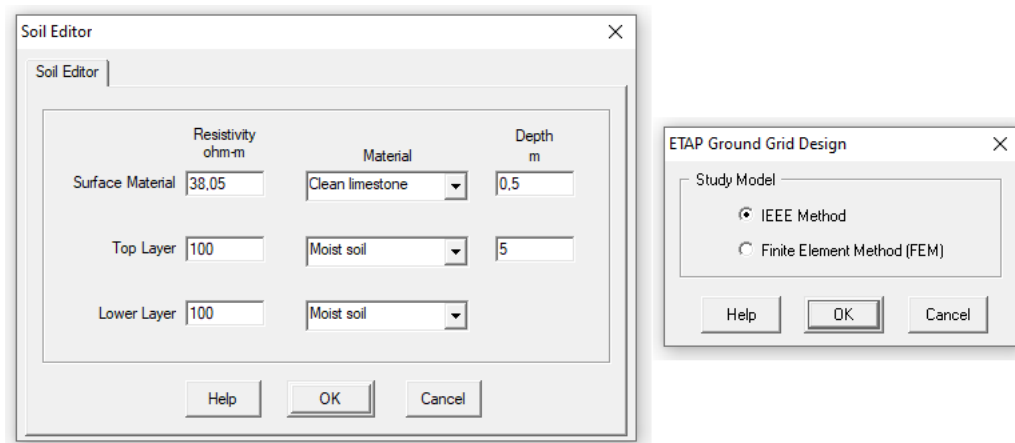
$$\% = \frac{62\% * 11 \text{ m}}{100\%} \quad (5)$$

$$\% = 6,82 \text{ m}$$

Como resultado se ha obtenido una distancia de 6,82 m, por lo que se aproxima a 7 m y se determina el valor de 6,04  $\Omega$  correspondiente a dicha medición.

#### D. Simulación del sistema de puesta a tierra

Se procede a realizar una simulación en el software ETAP, en la gráfica N° 9 se observa la metodología (Cortez & Sotomayor, 2007) seleccionada y la configuración del suelo, considerando el valor promedio de resistividad del terreno de 38,05  $\Omega\text{m}$ .



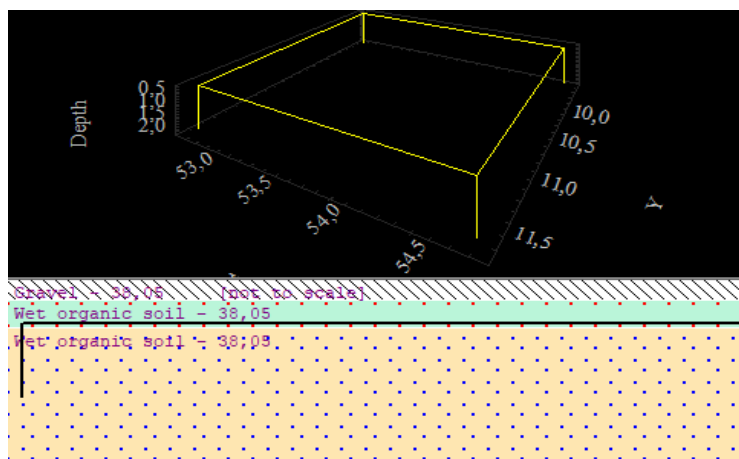
Gráfica N° 96. Selección de metodología y configuración del suelo

Posteriormente se procedió a ingresar la información referente a varillas y conductores como se observa en la gráfica N° 10.

The image shows two side-by-side screenshots of software configuration windows. The left window is titled 'Conductors' and the right window is titled 'Rods'. Both windows have tabs for 'Conductors' and 'Rods' at the top. The 'Conductors' window includes fields for 'Grid Size' (Lx: 2 m, Ly: 2 m), '# of Conductors' (X Direction: 2, Y Direction: 2), 'Material Constants' (Conductivity: 97.0, Alpha Factor: 0.00381, Ko Factor: 242, Fusing Temperature: 1084, Resistivity @ 20 C: 1.78, Thermal Capacity: 3.42), and 'Conductors' (Depth: 0.6 m, Size: 50 sq.mm, Type: Copper, commercial hard-drawn, Cost: 10 \$/m). The 'Rods' window includes fields for '# of Rods' (4), 'Diameter' (1.6 cm), 'Length' (1.8 m), 'Arrangement' (Rods along Grid Perimeter), 'Type' (Copper, commercial hard-drawn), 'Cost' (100 \$/Rod), and the same 'Material Constants' as the 'Conductors' window. Both windows have 'Help', 'OK', and 'Cancel' buttons at the bottom.

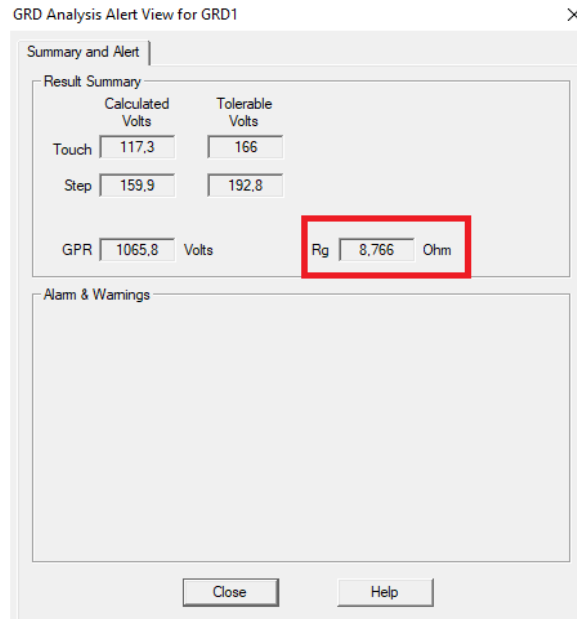
Gráfica N° 107. Configuración de varillas y conductores

Posteriormente, una vez ingresados parámetros de conductores y varillas coperweld, se procede a ejecutar la simulación como se observa en la gráfica N° 11.



Gráfica N° 11. Simulación del SPT en ETAP

El valor obtenido es de 8,766  $\Omega$  como se observa en la gráfica N° 12, valor que se aproxima al calculado, de manera que se comprueba el cálculo mediante simulación.



Gráfica N° 12. Resultados de la simulación

## Resultados y Discusión

### A. Resultados obtenidos del sistema implementado

Se procede a comparar a comparar los valores obtenidos para la resistencia del sistema de puesta a tierra implementado, mediante el análisis de los tres escenarios planteados (tabla 3); cálculo teórico, simulación y medición experimental.

**Tabla 1.**

Comparación de los valores de RPT obtenidos

CALCULADO [ $\Omega$ ]	SIMULADO [ $\Omega$ ]	MEDIDO [ $\Omega$ ]
8,41	8,76	6,50

Elaborado por: Autor

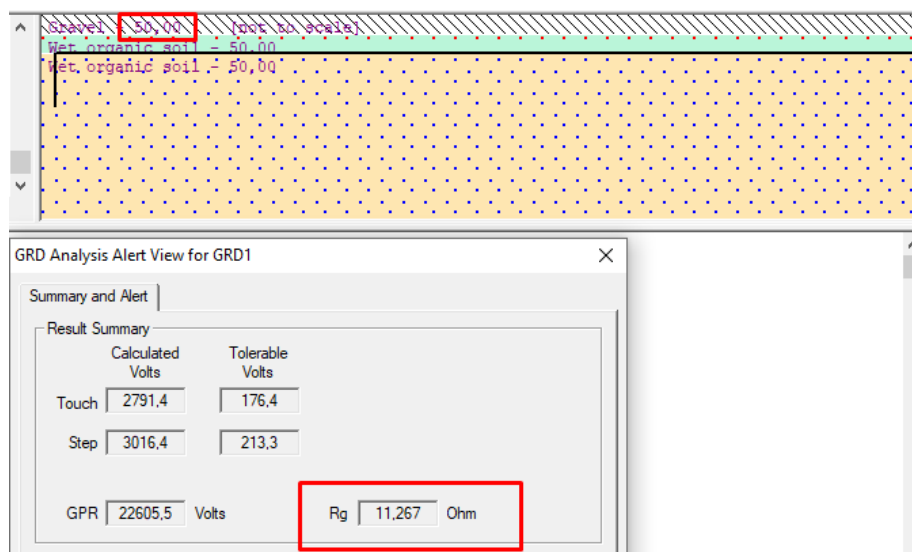
De donde se puede determinar que en los 3 casos el valor obtenido se encuentra dentro del rango permitido de acuerdo a lo estipulado en la norma ecuatoriana de construcción (NEC) en su capítulo de Instalaciones Electromecánicas, la cual estipula que para sistemas de bajo voltaje el valor máximo de resistencia debe ser de 10  $\Omega$ .

Asemejándose con mayor exactitud los valores obtenidos del cálculo y la simulación, y difiriendo del valor medido experimentalmente, el cuál presenta una mejor resistencia; esto se debe al uso del mejorante de suelos.

La semejanza entre los resultados obtenidos entre el cálculo y la simulación, comprueba la exactitud y pertinencia entre la teoría y la modelación informática, además se observa la eficacia del software como herramienta de comprobación.

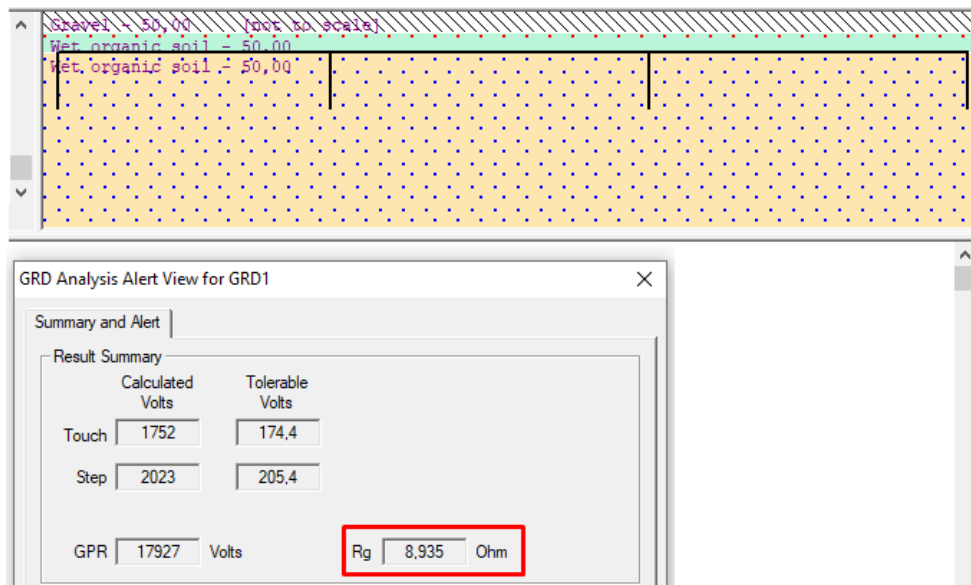
## B. Escenarios adversos proyectados

Se ha planteado un caso en el que la resistividad del suelo se incrementase de manera natural hasta los 50  $\Omega$ m, en dicho escenario la resistencia del SPT implementado se incrementaría hasta los 11,267  $\Omega$  como se observa en la gráfica N° 13.



Gráfica N° 13. Resistencia obtenida al incrementarse la resistividad del suelo

Entonces acorde a la teoría; una de las soluciones para compensar el valor de resistencia es incrementar el número de varillas en la composición del sistema, lo cual es posible de proyectarse gracias al software, de manera que se incrementó 2 varillas, obteniéndose una nueva resistencia de  $8,935 \Omega$  como se observa en la gráfica N° 12.



Gráfica N° 12. Compensación proyectada de resistencia del SPT

Consecuentemente, también se comprueba la eficiencia del software como herramienta de análisis y predicción ante eventos adversos que pudiesen acontecer.

## Conclusiones

1. Los resultados obtenidos en los 3 escenarios cumplen con los estipulado en la norma NEC, de manera que el uso de software significa una metodología eficiente en un 98% comparada con respecto al cálculo. La mejora en la medición experimental se debe al tratamiento de la tierra y el uso de agentes químicos para la mejora del suelo.

2. EL uso de software permite comprobar la teoría con el entorno real, en cuanto a situaciones como el mejoramiento de la resistividad de los SPT, así como la influencia de los valores de resistividad del suelo, lo cual fue comprobado satisfactoriamente en el presente estudio.
3. La simulación ofrece un entorno amigable en el cual se puede configurar cada uno de los parámetros, componentes y escenarios que involucrarían el desempeño de un sistema de puesta a tierra, siendo una herramienta con una proyección altamente realista.

### **Referencias**

- Cortez, O., & Sotomayor, M. (2007). *Aplicación del método de elementos finitos y programas computacionales en el diseño estructural de un galpón para el taller de la empresa PROCOPET S.A.* Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/330/1/CD-0756.pdf>
- ETAP. (2018). *Software para Sistemas de Malla de Tierras.* Obtenido de <https://etap.com/es/product/ground-grid-systems-software>
- INGESCO. (2020). *Puesta a Tierra.* Obtenido de <https://www.ingesco.com/es/productos/puesta-tierra>
- ISSUU. (2022). *Métodos de mediciones de resistividad del terreno.* Obtenido de [https://issuu.com/citeenergia/docs/art\\_culo\\_6\\_86050c35f0eee2#:~:text=M%C3%A9todo%20de%20los%20puntos,al%20electrodo%20del%20terreno%20bajo](https://issuu.com/citeenergia/docs/art_culo_6_86050c35f0eee2#:~:text=M%C3%A9todo%20de%20los%20puntos,al%20electrodo%20del%20terreno%20bajo)
- MIDUVI. (2015). *Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), Capítulo 15 Instalaciones Electromecánicas.* Obtenido de <https://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2017/09/NECINSTALACIONESELECTROMECHANICAS2013.pdf>
- Reyes, C., & Cruz, E. (2016). *Análisis de técnicas para medición de la resistividad de terreno mediante modelado.* Obtenido de



<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/21876/TESIS%20FINAL%20WENNER2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

UVA. (2016). *Sistema de Puesta a Tierra*. Obtenido de [https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos\\_02\\_03/Proteccion\\_cont\\_ra\\_descargas\\_atmosfericas/12/12.htm](https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos_02_03/Proteccion_cont_ra_descargas_atmosfericas/12/12.htm)