

MÉTODO ALTERNATIVO PARA LA MEDICIÓN DE GRANDES SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA - MODELO EN PRUEBA.

José Daniel Soto Ortiz, Ing. Msc.

Director de Postgrado e Investigación, Universidad del Norte, División de Ingenierías, Barranquilla, Colombia, jsoto@uninorte.edu.co

Benjamín García González, Ing.

Universidad del Norte, División de Ingeniería, Barranquilla, Colombia, bejam15@hotmail.com

Resumen

En el presente artículo se describe la metodología utilizada para optimizar el proceso de captura de información durante la medición de la resistencia de puesta a tierra, mediante la aplicación de un método alternativo. Durante la investigación se revisaron los criterios de ubicación de electrodos auxiliares de potencial y de corriente para la medición en los métodos convencionales de la pendiente y de intersección de curvas. Una debilidad en estos métodos corresponde a la localización del electrodo de corriente con respecto a la ubicación y dimensiones de la malla a estudiar. El resultado de nuestro trabajo logro disminuir la distancia de ubicación del electrodo de corriente y por ende la ubicación del electrodo de potencial. Nosotros proponemos el método alternativo de medición de resistencia de puesta a tierra de grandes enmallados en donde se reducen las distancias de ubicación de los electrodo auxiliares, esto incluye el electrodo de corriente simplificando su utilización lo que conlleva también a una reducción de los costos involucrados en el trabajo de campo.

Palabras Claves:

Sistemas de puesta a tierra, Métodos de medición, Resistencia de puesta a tierra.

1. Introducción

Conocer el buen funcionamiento de los sistemas de puesta a tierra requiere de la utilización de métodos de medición poco prácticos; en la actualidad existen muchos métodos de medición de la resistencia de puesta a tierra (método de la caída de potencial, método de la pendiente y método de intersección de curvas) en donde cada uno de ellos tiene una aplicación particular. Por ejemplo, el método de la caída de potencial es utilizado para la medición de la resistencia de puesta a tierra de pequeñas mallas y en algunos casos medianas, mientras que otros métodos como el de intersección de curvas y el método de la pendiente son usados en la medición de grandes mallas. La mayoría de los métodos tienen un inconveniente, que implica la utilización de un electrodo auxiliar de corriente que es necesario ubicar a grandes distancias (6,5 a 8 veces la máxima longitud del lado del sistema de puesta a tierra), sin tener en cuenta además que es necesario tomar un número considerable de mediciones, cálculos largos y

dispendiosos. Todo esto se ve reflejado en las horas de trabajo que tiene que demorar el equipo de campo y por supuesto en los costos que involucran la realización de estas mediciones.

Esta investigación fue encaminada a la determinación de nuevas formas de medición y al análisis en los estudios de grandes Sistemas de puesta a tierra, por medio de nuestra propuesta de un nuevo método alternativo de medición de grandes enmallados, basado en el conocimiento de los métodos tradicionales, tales como el método de la intersección de curvas, incluyendo las variaciones que consisten en la disminución de las distancias para la ubicación del electrodo auxiliar de corriente y abriendo la posibilidad de su implementación en lugares en donde se tiene restricciones de espacio para la ejecución de la medida.

2. Modelo Alternativo - Propuesta

2.1. Descripción del modelo

El nuevo modelo (propuesta) para la medición de la resistencia de puesta a tierra en grandes Sistemas de puesta a tierra consiste en la reducción de las distancias de ubicación de los electrodos auxiliares con respecto a los métodos ya existentes conocidos, por lo cual, será mucho más sencillo y económico. El método alternativo de medición de sistemas de puesta a tierra consiste en una variación simplificada del método de intersección de curvas y el método de la caída de potencial. Para la validación y utilización de este modelo se tuvo presente el porcentaje de error que se obtuvo durante el momento de la implementación. El porcentaje de error que se consideró aceptable, debía ser menor o igual que el $\pm 5\%$ con respecto al valor de resistencia verdadero, teniendo en cuenta el error que ingresa el propio instrumento.

2.2. El modelo de medición

Los métodos más usados en la medición de la resistencia de un Sistema de puesta a tierra implican largas distancias para la realización de las mediciones, por lo tanto para este nuevo método (modelo en prueba) se redujeron dichas distancias mediante la experimentación directa hasta obtener valores adecuados.

La estándar IEEE 80 establece que para obtener resultados significativos en la medición de la resistencia de grandes enmallados a tierra, el electrodo auxiliar de corriente debe ubicarse a 6.5 veces el lado geométrico o mayor de sus lados, ubicado desde el vértice de la malla o desde el centro geométrico, lo cual implica distancias de trabajo muy largas que dificultan la medición debido a que es necesario contar con el espacio necesario para la ubicación de los equipos y electrodos auxiliares, y que en la mayoría de casos en la industrial, significa invadir el terreno de otra industria vecina, mientras que con el modelo propuesto (modelo en prueba) este factor fue disminuido y se logró que la ubicación del electrodo auxiliar de corriente este a una distancia equivalente a 1 ó 2 veces el lado geométrico desde el vértice de la malla.

Fue necesario instalar una malla de tierra de prueba con el propósito de comparar los resultados de medición mediante los métodos de medición convencionales en diferentes tipos de terrenos, que involucraron suelo con tierra negra de jardín, suelo arcilloso y otros. También se utilizaron dos tipos de configuraciones: cuadrada y triangular. Se plantearon varias propuestas buscando obtener resultados de medición aceptables, de los que sólo uno seleccionamos por sus ventajas comparativas.

Durante las mediciones se seleccionó el modelo por medio del cual se obtuvieron los resultados más favorables, lo que quiere decir un error menor de $\pm 5\%$, con respecto a los valores obtenidos por las formas convencionales.

2.3. Procedimiento de medición en campo por el método alternativo

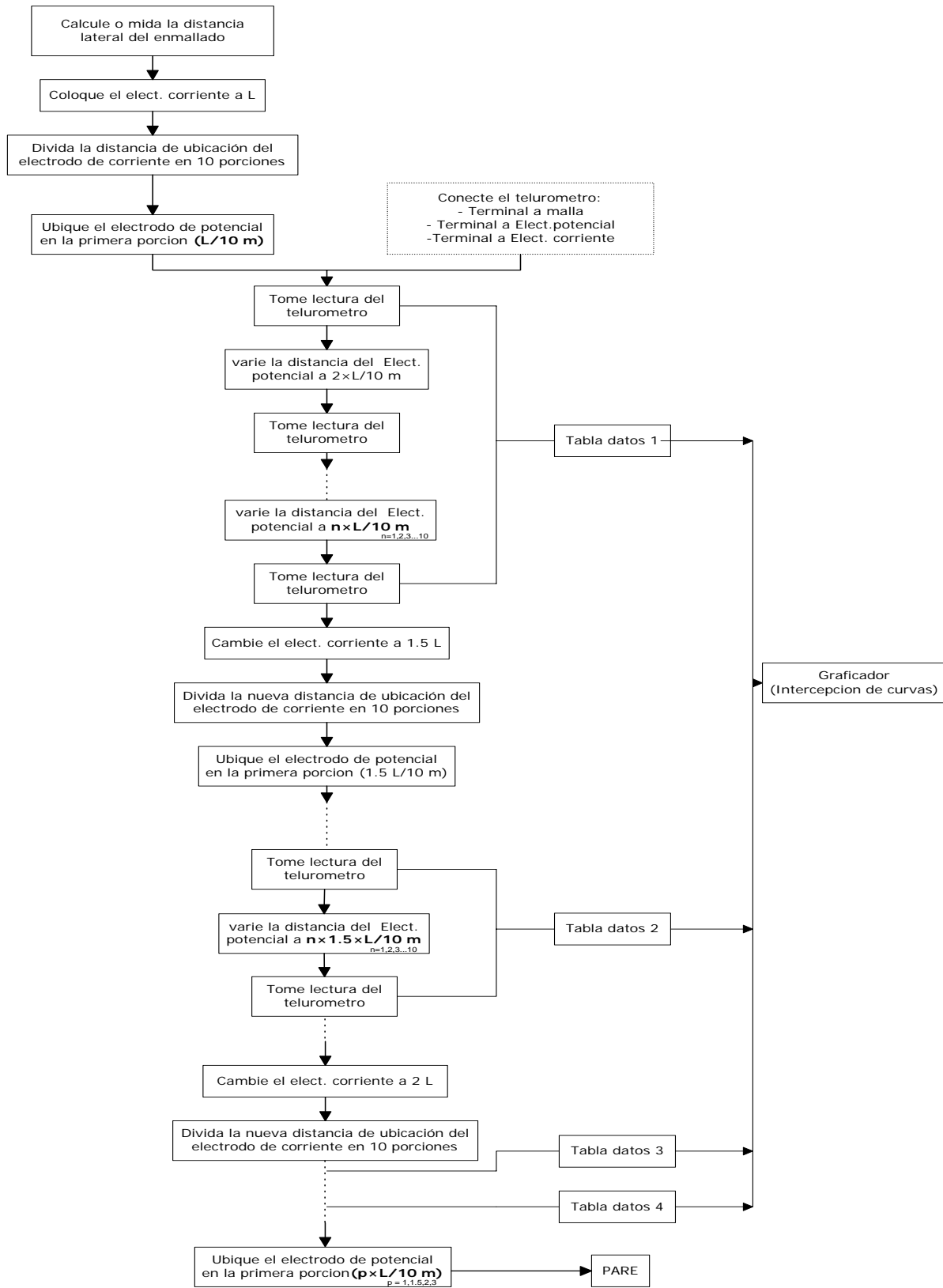
Una vez se selecciona el equipo de medición que cumple con las especificaciones técnicas, y haber revisado su funcionamiento, se debe realizar el siguiente procedimiento:

- 1- Se determina el lado geométrico equivalente de la malla de puesta a tierra instalada

$$l_{geo.equivalente} = \sqrt{\text{Área} _ \text{Malla}}$$

- 2- Se selecciona el punto de conexión en la malla.
- 3- Se coloca el electrodo auxiliar de corriente a 2 veces la distancia calculada en el punto 1.
- 4- La distancia de ubicación del electrodo de corriente se divide en 10 porciones, con el propósito de realizar la ubicación sistemática del electrodo de potencial (electrodo de potencial en la primera porción es decir a L/10 m).
- 5- Conecte el telurómetro:
 - Al terminal a malla
 - Al terminal al electrodo de corriente
 - Al terminal al electrodo de potencial
- 6- Verifique la NO existencia de corrientes espurias en la zona.
- 7- Tome la lectura del telurómetro
- 8- Cambie la distancia del electrodo de potencial a 2*(L/10) m y nuevamente, tome la lectura del telurómetro.
- 9- Cambie sucesivamente la distancia del electrodo de potencial, ubicando lo en las otras particiones y realiza la lectura del instrumento en cada caso, hasta llegar a 10*(L/10) m.
- 10- Posteriormente se cambia la posición del electrodo auxiliar de corriente al 80 % de la longitud inicial (distancia calculada en el numeral 1).
- 11- Se repiten los pasos enunciados los numerales 2 al 9.
- 12- Nuevamente cambie de posición el electrodo auxiliar de corriente a 60% de la distancia inicial.
- 13- Se repiten los pasos enunciados los numerales 2 al 9.
- 14- Recurriendo a las representaciones gráficas de lo medido, obtenemos el valor de la resistencia de puesta a tierra en el punto donde confluyen las curvas.

2.4. Diagrama de flujo procedimiento medición en campo (Modelo propuesto)



3. Descripción Del Modelo De Simulación

Para este modelo utilizamos dos prototipos de malla, pequeño y mediano (modelos a escala), para efectos de tener un mejor manejo de las mediciones, por lo tanto fue posible analizar la viabilidad de métodos usados para pequeñas mallas particularmente el método de la pendiente, el cual fue tenido en cuenta para efectos ilustrativos, mientras que para métodos de medición que se utilizan para enmallados grandes, se simuló en un segundo prototipo en donde se pudo observar el comportamiento del método propuesto y de esta forma poder obtener parámetros que implicaran el buen comportamiento de nuestro “modelo propuesto” como lo es los porcentajes de error arrojados por las mediciones de campo.

Tabla 1: Comparaciones de resultados de medición de resistencia de puesta a tierra en una configuración cuadrada.

Lugar / tipo de suelo	Método	Valor Resistencia (Ω)	Error (%)	Observación
Jardín / tierra de jardín	Caída de potencial	139.1		Referencia
	Pendiente	142.5	- 2.4	
	Intersección de curvas	134.2	3.5	
	Método alternativo	137.0	1.51	

Tabla 2: Comparaciones de resultados de medición de resistencia de puesta a tierra en una configuración triangular.

Lugar / tipo de suelo	Método	Valor Resistencia (Ω)	Error (%)	Observación
Jardín / tierra de jardín	Caída de potencial	156		Referencia
	Pendiente	162.3	- 4.0	
	Intersección de curvas	162.9	- 4.4	
	Método alternativo	164.1	- 5.19	

Tabla 3: Comparaciones de resultados de medición de resistencia de puesta a tierra en una configuración cuadrada.

Lugar / tipo de suelo	Método	Valor Resistencia (Ω)	Error (%)	Observación
Tierra arcillosa	Caída de potencial	8.2		Referencia
	Pendiente	9	- 9.7	
	Intersección de curvas	8.5	- 3.65	
	Método alternativo	8.5	- 3.65	

Tabla 4: Comparaciones de resultados de medición de resistencia de puesta a tierra en una configuración triangular.

Lugar / tipo de suelo	Método	Valor Resistencia (Ω)	Error (%)	Observación
Tierra arcillosa	Caída de potencial	11.4		Referencia
	Pendiente	11.9	- 4.4	
	Intersección de curvas	11.9	- 4.4	
	Método alternativo	11.9	- 4.4	

4. Conclusión

Después de realizar todas las pruebas correspondientes a nuestra investigación sobre grandes sistemas de puesta a tierra se obtuvieron resultados validos que permiten la implementación de este método alternativo de medición. Las pruebas realizadas inicialmente se desarrollaron con el método de la caída de potencial que sirvieron de referencia en las mallas de prueba, con las que se obtuvieron errores hasta del $\pm 5\%$, lo que hace que la implementación de este método sea valida para la comprobación de los resultados con los métodos de la pendiente, e intersección de curvas para su debida contrastación con el método alternativo propuesto. Fue tenido en cuenta que la aproximación de los electrodos causa una disminución en la meseta en la curva que representa el valor de la resistencia de puesta a tierra en la medición, lo cual dificultó inicialmente la determinación de los valores de tensión con lo que se obtenían valores de resistencia. Cuando se utilizó el método de intercepción de curvas se obtuvieron resultados en las todas las pruebas, con errores muy bajos, pero al comparar con el método alternativo los errores obtenidos fueron similares, lo que nos demuestra en gran medida que su alto grado de exactitud. una gran precisión y por lo tanto resulta viable la implementación de dicho método.

Durante las pruebas nos enfrentamos a diferentes tipos de terrenos. el caso de terrenos muy secos, en lo cuales la resistencia de la malla es muy alta, imposibilitando así la construcción real de un enmallado para un sistema de puesta a tierra a menos que el terreno reciba una adecuada y oportuna preparación que permita disminuir estos altos valores de resistencia de puesta a tierra

Cabe anotar que durante la realización de esta investigación se presentaron fenómenos atmosféricos (lluvia y tormentas eléctricas) que retrasaron la toma de las medidas, ya que el terreno, ante estas condiciones sufre cambios transitorios en sus características típicas que afectan directamente el valor real de resistencia de puesta a tierra, arrojando como resultados valores de resistencia errados. No obstante la comparación de resultados entre los métodos en estudio fue satisfactoria.

Finalmente se determino que el método que mejor responde ante la disminución en las distancias de ubicación del electrodo auxiliar de corriente fue el método alternativo que en gran medida corresponde a una variación simplificada del método de intercepción de curvas. En la actualidad nos encontramos en la tercera fase de validad del método alternativo de medición de resistencia de puesta a tierra, utilizando herramientas estadísticas para su análisis.

5. Referencia

Casas Ospina, F. (2003). Tierras – Soporte de la seguridad eléctrica Ed. Segunda.

Soto J. D. Gonzalez C. (1999). Sistemas de puesta tierra en los cerros, Ingeniería y Desarrollo No. 5 enero – junio 1999, pp. 112 – 118.

Altamar, E., Sarmiento J. (2000). Propuesta de un método alternativo para la medición de grandes sistemas de puesta a tierra. Universidad del Norte.

Soto, J. D., Gonzalez C. (1997). Memorias curso de sistema de puesta a tierra, Centro de Educación Continuada Universidad del Norte.

Quintero, J. F., Silva, I. E. (1999). Sistemas de puesta a tierra. Universidad del Norte.

IEEE Guide for safety in AC substation grounding, ANSI / IEEE Std. 80

IEEE Grounding of industrial and commercial power systems ANSI / IEEE Std. 142