



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**Eficiencia del método de medición de resistencia en grandes
sistemas de puesta a tierra.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Sánchez Domínguez, Pedro Jeherson (ORCID: 0000-0003-4192-3859)

ASESOR:

Mg. Panta Carranza, Dante Omar (ORCID: 0000-0002-4731-263X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, transmisión y distribución

TRUJILLO – PERÚ

2021

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de investigación a Dios por darme la fortaleza para continuar con mi desarrollo profesional y a mis padres Martha y Pedro que son mi motivación quienes constantemente me dan el apoyo emocional para seguir adelante.

Pedro Sánchez

Agradecimiento

Agradezco a Dios porque en estos tiempos de incertidumbre me ha mantenido con salud y ha permitido que pueda desarrollar el presente trabajo de investigación, a mis padres por el amor y cariño brindado constantemente y a los profesores quienes compartieron sus conocimientos con mi persona.

Pedro Sánchez

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
I. Introducción	1
II. Marco teórico	3
III. Metodología	8
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	8
3.2. Variables operacionalización	8
3.3. Población, muestra y muestreo	8
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	9
3.5. Procedimientos.....	9
3.6. Método de análisis de datos	13
3.7. Aspectos éticos	13
IV. Resultados	14
4.1. Sistema de puesta a tierra con restricciones de distancia SPAT1.....	14
4.2. Sistema de puesta a tierra sin restricciones de distancia SPAT2.....	22
V. Discusión	30
VI. Conclusiones	34
VII. Recomendaciones	35
Referencias	36
Anexos	39

Índice de tablas

Tabla 1. Valores límites de resistencia de tierra según IEEE Std. 80.....	4
Tabla 2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	9
Tabla 3. Valores medidos método convencional SPAT1.....	15
Tabla 4. Recursos empleados en el método convencional SPAT1.....	17
Tabla 5. Tiempo empleado en el método convencional SPAT1.....	17
Tabla 6. Cálculo de $P[m]$ y $R[\Omega]$ para distintos valores de $\lambda[m]$ - SPAT1.....	19
Tabla 7. Recursos empleados en el método alternativo SPAT1.....	20
Tabla 8. Tiempo empleado en el método alternativo SPAT1.....	20
Tabla 9. Eficiencia de los métodos de medición SPAT1.....	21
Tabla 10. Valores medidos método convencional SPAT2.....	23
Tabla 11. Recursos empleados en el método alternativo SPAT2.....	25
Tabla 12. Tiempo empleado en el método alternativo SPAT2.....	25
Tabla 13. Cálculo de $P[m]$ y $R[\Omega]$ para distintos valores de $\lambda[m]$ – SPAT2.....	27
Tabla 14. Recursos empleados en el método alternativo SPAT2.....	28
Tabla 15. Tiempo empleado en el método alternativo SPAT2.....	28
Tabla 16. Eficiencia de los métodos de medición SPAT2.....	29

Índice de figuras

Figura 1. Representación del método de caída de potencial al 62%.....	6
Figura 2. Representación del método alternativo de intersección de curvas.	7
Figura 3. Curvas de resistencia (R) vs Longitud (λ).	7
Figura 4. Procedimiento para la ejecución de la investigación.	9
Figura 5. Configuración del Circuito de prueba – Método convencional	10
Figura 6. Configuración del Circuito de prueba – Método alternativo.....	12
Figura 7. Dimensiones del sistema de puesta a tierra SPAT1.	14
Figura 8. Circuito de prueba – método convencional SPAT1	15
Figura 9. Resistencia medida R vs distancia P - método convencional SPAT1	16
Figura 10. Resistencia medida R vs distancia P - método alternativo SPAT1.	18
Figura 11. Gráfica de resistencia R vs distancia λ en SPAT1.	19
Figura 12. Dimensiones del sistema de puesta a tierra SPAT2.	22
Figura 13. Circuito de prueba – método convencional SPAT2.....	23
Figura 14. Resistencia medida R vs distancia P - método convencional SPAT2. .	24
Figura 15. Resistencia medida R vs distancia P - método alternativo SPAT2.	26
Figura 16. Gráfica de resistencia R vs distancia λ en SPAT2.	27

RESUMEN

El presente trabajo investigación tiene como objetivo evaluar el método más eficiente para la medición de resistencia en sistemas de puesta a tierra de grandes dimensiones, en términos de confiabilidad de los resultados, costos y tiempo empleado para su ejecución, considerando que para las mediciones de resistencia no siempre se cuenta con las distancias recomendadas por el método convencional.

Se tiene como casos de estudio dos sistemas de puesta a tierra de grandes dimensiones, en el primer sistema se tienen restricciones de distancia para la ejecución de las mediciones y en el segundo no existen restricciones de distancia permitiendo realizar las mediciones a longitudes mayores a cinco veces la longitud más larga de sistema, en ambos casos se aplica y evalúa la eficiencia del método convencional IEEE de medición de resistencia por caída de potencial al 62% y el método alternativo de intersección de curvas desarrollado por el Dr. Tagg.

De la investigación realizada se concluye que el método alternativo es el más eficiente independientemente de las restricciones de distancia, porque en los dos sistemas estudiados brindó resultados confiables y con el telurómetro como equipo de pruebas se utilizaron menos recursos en comparación con el método convencional.

Palabras clave: Eficiencia, resistencia, malla, puesta a tierra, grandes dimensiones.

ABSTRACT

The present research work aims to evaluate the most efficient method for measuring resistance in large grounding systems, in terms of reliability of the results, costs and time used for its execution, considering that for resistance measurements the distances recommended by the conventional method are not always available.

There are two large grounding systems as case studies, in the first system there are distance restrictions for the execution of the measurements and in the second there are no distance restrictions allowing measurements to be made at lengths greater than five times the longest length of the system , in both cases the efficiency of the conventional IEEE method of measurement of resistance by potential drop at 62% and the alternative method of intersection of curves developed by Dr. Tagg is applied and evaluated.

From the research carried out, it is concluded that the alternative method is the most efficient regardless of the distance restrictions, because in the two systems studied it provided results and with the tellurometer as the test equipment, fewer resources were used compared to the conventional method.

Keywords: Efficiency, resistance, mesh, grounding, large dimensions.

I. INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento industrial y poblacional ha originado un aumento de la demanda de energía eléctrica a nivel mundial de un 2% anual durante los últimos 20 años (Enerdata, 2021), esto ha originado un crecimiento proporcional de la infraestructura eléctrica, en tal sentido, los grandes sistemas de puesta a tierra son de vital importancia en los sistemas eléctricos de potencia al estar directamente relacionados con la seguridad de las personas y las instalaciones (Alyami, 2019), estos sistemas de puesta a tierra se rigen bajo normativas nacionales e internacionales como el Código Nacional de Electricidad (CNE) y el norma IEEE Std. 80-2000 que recomiendan mantener una resistencia $\leq 1\Omega$.

A nivel mundial en países como Angola para medir los sistemas de puesta a tierra de grandes dimensiones utilizan las líneas de transmisión como circuito de corriente originado costos por indisponibilidad de la línea utilizada para la prueba (Kosic, 2019), en Colombia ante la dificultad para la ejecución de las mediciones en los grandes sistemas de puesta a tierra se buscó optimizar el método alternativo por intersección de curvas a fin de facilitar su aplicación y evitar incurrir en malas prácticas en las mediciones de resistencia de puesta a tierra (Soto & García, 2005). El Perú en generación, transmisión y distribución de energía cuenta con 461 subestaciones de media, alta y extra alta tensión distribuidas en todo el territorio nacional (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [OSINERMIN], 2016), estas subestaciones cuentan en su mayoría con sistemas de puesta a tierra de grandes dimensiones ubicados en zonas geográficas de acceso restringido en sus alrededores, que dificultan las mediciones de resistencia por el método convencional de caída de potencial al 62%, originando malas prácticas en las mediciones.

El Dr. Tagg desarrolló un método alternativo para medir resistencia en subestaciones de grandes dimensiones que representa una solución al problema de las grandes distancias requeridas para las mediciones de resistencia en estas subestaciones (G.F. Tagg, 1964), este es un método poco conocido y aplicado en el sector eléctrico principalmente por la dificultad para el procesamiento de la información pero con la ayuda de herramientas computacionales se podría facilitar este proceso (Bonilla & Insignares, 2018)

Teniendo en cuenta que en el territorio donde se encuentran los grandes sistemas de puesta a tierra que no siempre se presentan las condiciones ideales para la aplicación del método convencional, llegando a incurrir en malas prácticas para cumplir con el valor de resistencia recomendado por las normas eléctricas ($\leq 1\Omega$), además económicamente una falla eléctrica en un sistema de puesta a tierra que no cuenta con un valor bajo valor de resistencia puede incurrir en grandes pérdidas por daños al equipamiento, a los procesos y poblaciones aledañas (Mesa & Sabogal, 2018), se consideró como una solución viable el método alternativo para evitar estas malas prácticas en la medición de resistencia en grandes sistemas de puesta a tierra a fin de conocer los valores representativos de la resistencia de estos sistemas y con ello tomar las acciones correctas para la mantenibilidad de los sistemas de puesta a tierra.

Por lo expuesto anteriormente surgió la interrogante: ¿Cuál es el método más eficiente para la medición de resistencia en grandes sistemas de puesta a tierra?

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el método más eficiente para la medición de resistencia en sistemas de grandes dimensiones, donde los métodos de medición estudiados son el método convencional de caída de potencial IEEE y el método alternativo de intersección de curvas desarrollado por el Dr. Tagg.

El primer objetivo específico fue determinar la eficiencia de la aplicación del método convencional y del método alternativo de medición de resistencia en un sistema de puesta a tierra de grandes dimensiones que por sus condiciones geográficas la distancia disponible para realizar las mediciones es reducida o limitada y el segundo objetivo específico fue determinar la eficiencia de la aplicación del método convencional y el método alternativo de medición de resistencia en un sistema de puesta a tierra de grandes dimensiones que por sus condiciones se tenía acceso a distancias mayores a cinco veces la longitud más larga para la ejecución de las mediciones.

Teniendo en cuenta las dificultades que representa el procesamiento de datos en el método alternativo de intersección de curvas del Dr. Tagg expuestas por Soto & García (2005) y con la ayuda de las herramientas computacionales recomendadas por Silguero (2018) se consideró el método alternativo como el más eficiente en términos de precisión en los resultados de resistencia, menores costos y tiempo de ejecución de las pruebas en sistemas de grandes dimensiones.

II. MARCO TEÓRICO

En el presente trabajo de investigación no se encontró a nivel nacional antecedentes relacionados con el tema de investigación por lo que únicamente se consideraron antecedentes internacionales:

Kostic (2019), quien en su investigación desarrollada en la universidad de Belgrado – Serbia, buscó mejorar la eficiencia del proceso de medición de resistencia en grandes sistemas de puesta a tierra de subestaciones en servicio, la investigación del tipo experimental fue aplicada en tres subestaciones de transformación, donde aplicó el proceso de medición con y sin las mejoras propuestas, en esta investigación se logró realizar las mediciones sin sacar fuera de servicio la subestación, se concluye que realizar las mediciones con la subestación energizada a 40, 60 y 75Hz para la subestación de 50Hz de frecuencia nominal y utilizando varillas de perforación como electrodo auxiliar hace más eficiente el proceso de medición por caída de potencial en términos de costos por indisponibilidad del sistema y menores recursos para la aplicación de la medición manteniendo la confiabilidad de los valores medidos con un error máximo del 3.37% respecto a las mediciones convencionales.

Silguero (2018), en su investigación desarrollada en Barranquilla - Colombia , buscó hacer más eficiente el proceso de medición de resistencia de malla en sistemas de puesta a tierra de dimensiones mayores o iguales a 2000m² utilizando el método de intersección de curvas y el alternativo a este, en el estudio del tipo experimental desarrolló una aplicación informática que permite el registro y procesamiento de los datos en tiempo real a fin de obtener los resultados en campo, se destaca que uno de los principales problemas para las mediciones en los sistemas estudiados es el tiempo empleado y la dificultad para el procesamiento de los datos, con la aplicación desarrollada se logró hacer más eficiente el proceso de medición, eliminando el tiempo de procesamiento de datos posteriores a la ejecución de las mediciones y el 100% de los costos relacionados a este proceso.

Bonilla & Insignares (2018), quienes en su investigación desarrollada en la ciudad de Barranquilla – Colombia, buscaron desarrollar una herramienta computacional que facilite el procesamiento de los datos en las mediciones de resistencia de malla por el método de la pendiente en sistemas de puesta a tierra, para el estudio se utilizó programación computacional logrando desarrollar un algoritmo plasmado en

una interfaz web, con la interfaz web desarrollada se facilitó el procesamiento de los datos obtenidos durante las mediciones de resistencia hasta generar un reporte o informe con los resultados, se encontró que el uso de esta herramienta hace más eficiente el procesamiento de los resultados de las mediciones de resistencia de malla, en términos de menor tiempo y mayor facilidad para el procesamiento de las mediciones.

Pérez (2019), quien en su investigación desarrollada en la subestación eléctrica de Xitoto en Angola, buscó proponer el equipamiento más adecuado para la medición de resistencia de malla con la subestación energizada considerando las grandes dimensiones de esta subestación, analizó el método, los procedimientos de pruebas utilizados para las mediciones realizadas en la subestación y otros métodos aplicables, así como los equipos de prueba disponibles en el mercado para realizar estas actividades, en esta investigación se identificó que el uso del método de la pendiente utilizando equipo de medición AEMC modelo 4500 sería el método más eficiente para la medición de resistencia en la subestación de Xitoto sin sacarla fuera de servicio.

La norma internacional IEEE Std. 81 (2012), define a los sistemas de puesta a tierra (SPAT) como el conjunto de todas las instalaciones de puesta a tierra interconectadas en un área específica que proporcionan una vía de descarga para la corriente con el fin de reducir el riesgo de descarga en el personal y evitar daños en los equipos y la propiedad, el principal parámetro o indicador de un SPAT es el valor de la resistencia medido en ohmios (Ω) que es la resistencia que al paso de la corriente que ofrece el sistema de puesta a tierra, este valor debe cumplir con los límites recomendados por las normas nacionales como el código nacional de electricidad (CNE-Suministro 2011) o normas internacionales como la IEEE Std. 80, ver tabla 1

Tabla 1. *Valores límites de resistencia de tierra según IEEE Std. 80.*

Tipo de subestación	Resistencia (Ω)
Grandes subestaciones	≤ 1
Pequeñas subestaciones de distribución	≤ 5

Fuente: Norma IEEE std. 80, (2000).

La norma internacional ISO 9000 (2015), define a la eficiencia de un proceso o método como la relación entre los resultados obtenidos y los recursos utilizados para su obtención, es decir, un proceso es eficiente cuando se utiliza la menor cantidad de recursos para obtener los resultados y los recursos se relacionan directamente con los costos y el tiempo empleado.

Para Cegarra (2015), la eficiencia es la relación existente entre los recursos suministrados para un determinado fin y los resultados obtenidos en un tiempo determinado.

Según Koontz y Weihrich (2004), la eficiencia es el cumplimiento de las metas propuestas utilizando la menor cantidad de recursos para su ejecución.

Para Sayas (2014), en los sistemas de puesta a tierra la eficiencia de los métodos de medición es la relación entre la obtención de mediciones de resistencia confiables y los recursos utilizados para su obtención, es decir, se mide la eficiencia de cada método en función a la resistencia medida y los recursos empleados en términos de costos y tiempo.

Un método de prueba de resistencia de malla es eficiente cuando este permite la realización de la medición con menores costos en recursos, menor indisponibilidad de la subestación y obteniendo resultados de calidad que representen el valor de la malla de puesta a tierra (Kostic, 2019).

Pérez (2019) considera que para las mediciones de resistencia de la malla los recursos utilizados son el personal ejecutor que participa en el proceso de las mediciones, los equipos de pruebas y los materiales utilizados para las mediciones cuyos indicadores son los costos relacionados al uso de estos recursos y el tiempo empleado para la ejecución de las mediciones desde las actividades previas hasta el procesamiento de los resultados.

Se consideran como grandes sistemas de puesta a tierra a aquellos en los que por sus dimensiones para las mediciones por el método convencional IEEE, se requieren distancias para prueba del orden de los cientos de metros (Lee, 2009).

Para la medición de la resistencia de grandes sistemas de puesta a tierra se tienen diferentes métodos o procedimientos de prueba de los cuales el método convencional IEEE es el de caída de potencial al 62% y el método alternativo es el de intersección de curvas del Dr. Tagg. Cada método tiene sus particularidades en

el procedimiento de obtención de resultados, procesamiento de los resultados y evaluación de la confiabilidad de los mismos.

El método de caída de potencial al 62% de la IEEE, se caracteriza por la facilidad en su ejecución y en el procesamiento de los resultados; mide la resistencia de tierra basándose en el principio de la caída de potencial a través de una resistencia, gráficamente se demuestra que el valor de la resistencia de la malla a tierra está 61.8% de la longitud del circuito de corriente (C). Utiliza electrodos auxiliares (uno de corriente y otro de potencial) que se colocan a una determinada distancia del sistema en prueba (La IEEE 81-2012 recomienda esta distancia mayor o igual a 5 veces la longitud del sistema a medir); se hace pasar una corriente de magnitud conocida entre la malla a medir y el electrodo auxiliar luego se mide la caída de potencial para obtener el valor de resistencia (ver Figura 1).

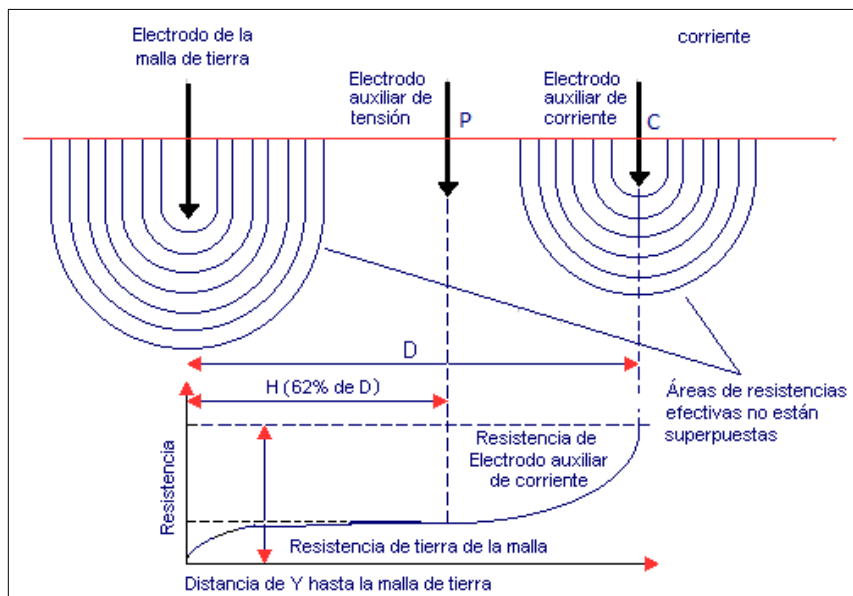


Figura 1. Representación del método de caída de potencial al 62%.

Lee (2008), establece que para el método de caída de potencial los resultados son confiables si la curva de resistencia vs distancia presenta una tendencia plana en el punto de inflexión donde los valores medidos al 52%, 62% y 72% de la distancia de inyección de corriente no varían en más de un 10%, caso contrario los resultados o las mediciones se consideran no son confiables por no ser el valor representativo del sistema de puesta a tierra medido.

Es decir, para que los resultados medios sean confiables, se debe cumplir con:

$$\% \text{ Variación} = \frac{R_2 - R_1}{R} \times 100 \% \quad \left\{ \begin{array}{l} \leq 10 \% \rightarrow \text{Resultados confiables.} \\ > 10 \% \rightarrow \text{Resultados no confiables.} \end{array} \right.$$

Donde R_1 , R y R_2 es la resistencia medida al 52%, 62% y 72% de la distancia del circuito de corriente.

Método alternativo de intersección de curvas desarrollado por el Dr. G.F. Tagg, surge como una alternativa de solución al problema de distancias al aplicar el método convencional de caída de potencial (Tagg, 1964).

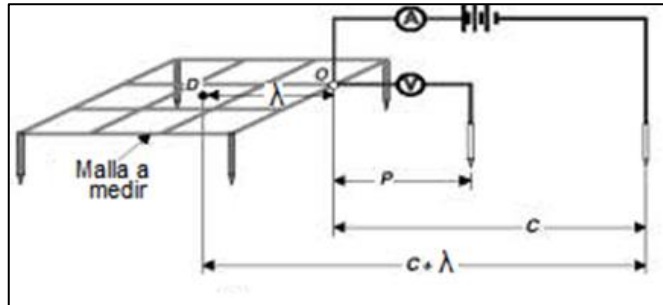


Figura 2. Representación del método alternativo de intersección de curvas.

Para la aplicación del método alternativo (Figura 2) se grafican no menos de tres curvas de resistencia (R) vs distancia (P) para posteriormente graficar las curvas de R vs λ utilizando la fórmula de $P = 0,618(C+\lambda) - \lambda$, donde “ P ” es la distancia al punto de medición de tensión, “ C ” es la distancia al punto de inyección de corriente y “ λ ” es la distancia entre el punto de referencia “ o ” y el centro eléctrico del sistema de puesta a tierra y el valor de la resistencia del sistema medido es el centro del área formada por las intersección de las curvas R vs λ (ver Figura 3).

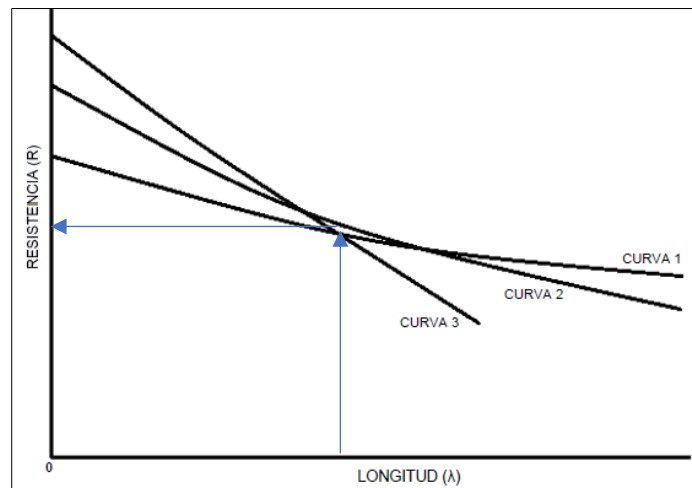


Figura 3. Curvas de resistencia (R) vs Longitud (λ).

Los resultados obtenidos del método de medición son confiables sin incurrir en mediciones incorrectas o errores de ampliación del método cuando se tienen como mínimo tres curvas interceptadas (Tagg, 1964).

$$\text{N}^\circ \text{ Curvas interceptadas} \left\{ \begin{array}{l} \geq 3 \rightarrow \text{Resultados confiables.} \\ < 3 \rightarrow \text{Resultados no confiables.} \end{array} \right.$$

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente estudio utilizó teorías desarrolladas para la ejecución de mediciones de resistencia a tierra en sistemas de grandes dimensiones, por lo tanto, es del tipo aplicada, con un diseño no experimental al no haber manipulación de la variable investigada, es transversal dado que los datos obtenidos para medir la eficiencia solamente se registran en una sola vez en el tiempo; se realiza la investigación en un nivel descriptivo, analizando y describiendo la variable eficiencia de los métodos de medición de resistencia en sistemas de puesta a tierra de grandes dimensiones.

3.2. Variables operacionalización

En la presente investigación se consideró la eficiencia del método de medición de resistencia en sistemas de puesta tierra de grandes dimensiones como la única variable de estudio la cual es del tipo cuantitativa porque se expresada en función a los valores de resistencia, confiabilidad en sus resultados, tiempo y costos (Ver anexo 2).

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

La población son todos los sistemas de puesta a tierra de grandes dimensiones, es decir aquellos que comprenden grandes áreas de terreno, estos sistemas por sus dimensiones hacen que las pruebas de medición de resistencia de tierra sean complejas o se presenten dificultades para las mediciones de resistencia, a diferencia de un pequeño sistema de tierra (Pozo a tierra) en los cuales la medición de resistencia no presenta mayor dificultad.

3.3.2. Muestra y muestreo

La muestra es seleccionada por muestreo simple por conveniencia y estará conformada por dos sistemas de puesta a tierra de grandes dimensiones a los que se aplicarán ambos métodos estudiados:

SPAT1: Sistema de puesta a tierra de grandes dimensiones que por sus condiciones geográficas la distancia disponible para realizar las mediciones es reducida o limitada.

SPAT2: Sistema de puesta a tierra de grandes dimensiones que por sus condiciones se cuenta con acceso a distancias mayores a cinco veces la longitud más larga para la ejecución de las mediciones.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la presente investigación se utilizaron técnicas de análisis documental para la recolección de la información y de observación para recolectar los datos de campo de la información referida a las mediciones de resistencia de los sistemas de puesta a tierra, teniendo como instrumento la ficha de registro que fue validada en conjunto con la matriz de consistencia y matriz de operacionalización de variables por tres expertos en el tema.

Tabla 2. *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

Técnicas	Uso	Instrumento
Análisis Documental	Recolectar información de fuentes confiables.	Ficha de registro.
Observación	Registrar datos de campo, características de los sistemas de puesta a tierra, medidas de resistencia de tierra.	Ficha de registro.

Fuente: Elaboración propia

3.5. Procedimientos

Para cumplir con los objetivos del trabajo de investigación propuesto se realizó lo siguiente (ver Figura 4):

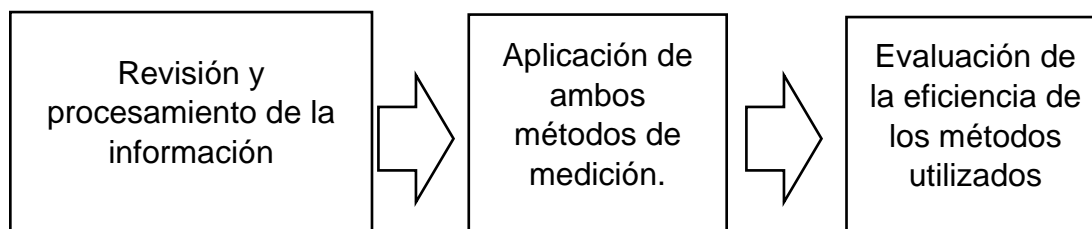


Figura 4. Procedimiento para la ejecución de la investigación.

Como primera etapa se realizó la revisión bibliográfica de la información disponible en las normas eléctricas como la IEEE Std. 81-2012, el CNE, publicaciones de IEEE y artículos científicos relacionados con el tema de estudio, se definió el procedimiento de pruebas los dos métodos, identificándose las consideraciones requeridas para la aplicación de cada método, así los criterios para la selección del método más apropiado y los requerimientos a cumplir dependiendo de las características propias del sistema de puesta a tierra a medir, se elaboró un formato de hoja de cálculo en Excel para facilitar el procesamiento de los resultados de las mediciones en especial en el método alternativo.

Como segunda etapa se seleccionaron dos sistemas de puesta a tierra de grandes dimensiones y se aplicaron ambos métodos de prueba, el primer sistema contaba con un espacio limitado a su alrededor para el circuito de corriente en las mediciones, mientras que, el segundo contaba con áreas libres a su alrededor para la implementación de circuitos extensos de corriente y mediciones de caída de potencial.

Posteriormente como parte final, se evaluó la eficiencia de ambos métodos mediante el análisis de los resultados obtenidos en términos de confiabilidad de los valores medidos y los recursos en términos de costos y tiempo empleado.

3.5.1. Procedimiento para la aplicación del método convencional

Los lineamientos del procedimiento para la medición por caída de potencial se realizaron de acuerdo con la norma IEEE Std 81-2012.

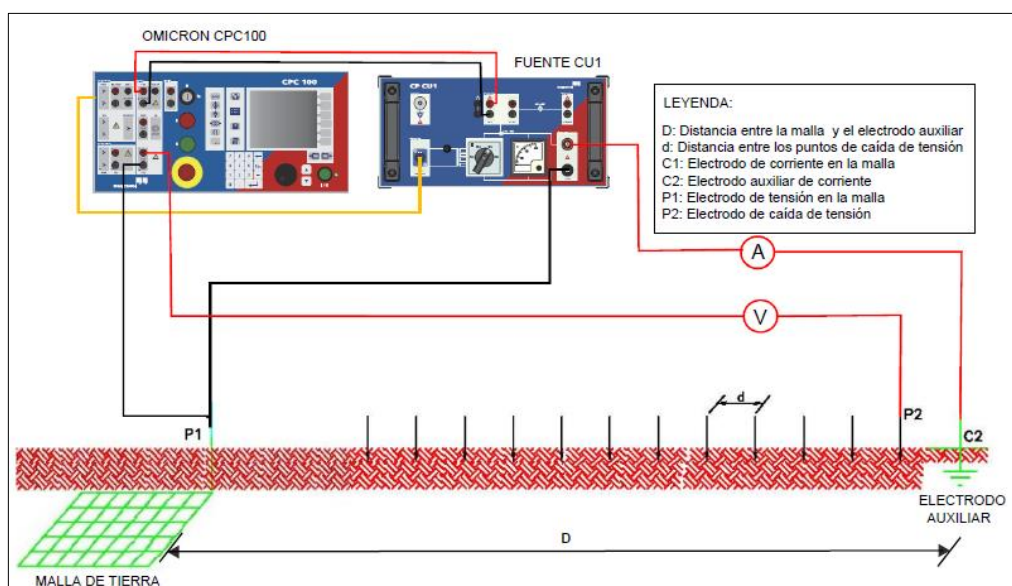


Figura 5. Configuración del Circuito de prueba – Método convencional

- Se calculó la distancia del circuito de corriente, la norma recomienda para mejorar la precisión de los resultados, debe al menos cinco veces la dimensión más larga de la malla de puesta a tierra, si consideramos una malla de tierra forma de un rectángulo la dimensión más larga sería la diagonal y según las condiciones geográficas y el área disponible en el lugar se determinó el punto de inyección ($C \geq 5 D$: Donde “C” es la distancia del circuito de corriente [m] y “D” es la longitud más larga de la malla).
- Se elaboró el pozo auxiliar con una resistencia menor a 10 ohm a la distancia calculada anteriormente (C) que sirvió como electrodo auxiliar para la sonda de corriente (requerido para circuitos mayores a 200m) en el que se utilizó para la medición el equipo de prueba CPC100 con su unidad de amplificación de corriente CU1, inyectándose no menos de 6A como corriente de prueba recomendación de fabricante del equipo de pruebas (OMICRON, 2020).
- Para la medición en el circuito de corriente menor a 200m se realizó utilizando el telurómetro digital Marca FLUKE, Modelo 1625 para el cual no se requirió un pozo auxiliar en el extremo de inyección de corriente.
- Se realizaron las conexiones del equipo de prueba y los circuitos de medición según la Figura 5 y se realizaron las mediciones de caída de potencial en el trayecto de la desde el sistema de puesta a tierra en prueba hasta el pozo auxiliar en (n) segmentos.
- Con medidas de resistencia obtenidas, se procedió a determinar el valor de resistencia de tierra en la malla medida, en forma gráfica que de acuerdo con la IEEE 81 (2012), es al 62% de la distancia del electrodo auxiliar “C”.

3.5.2. Procedimiento para la aplicación del método alternativo

El procedimiento para la medición por intersección de curvas se realizó de acuerdo con los lineamientos establecidos por el Dr. G.F. Tagg el cual fue publicado y validado en IEEE Procedures.

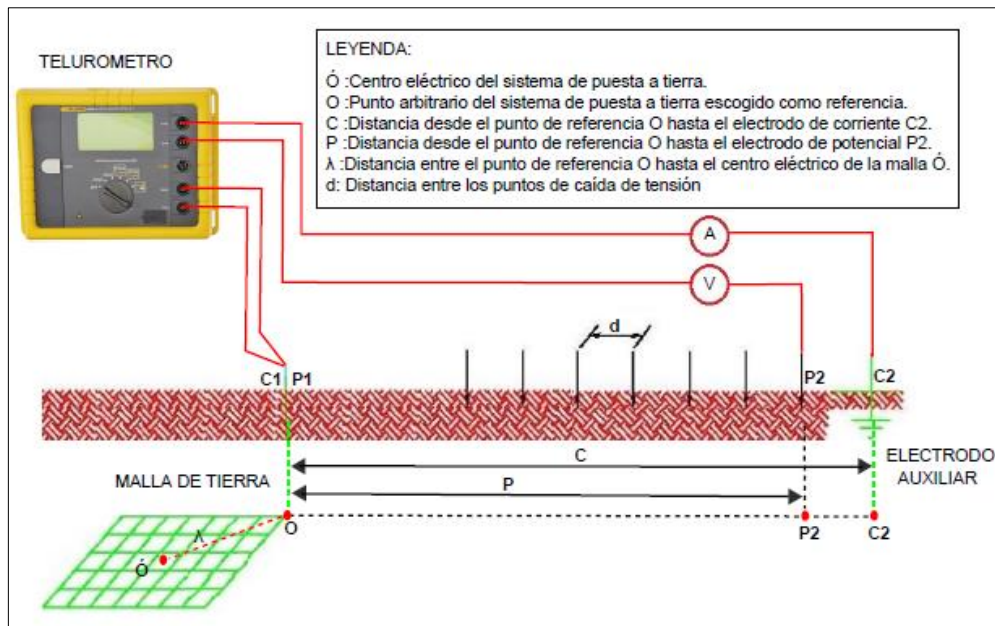


Figura 6. Configuración del Circuito de prueba – Método alternativo.

- Se escogió como referencia para determinar las distancias de los circuitos de corriente (C), el criterio recomendado por Sayas, (2014), el cual es que si consideramos una malla de forma cuadrada la distancia de hasta el electrodo de corriente “C” debe ser $L \leq C \leq 2(L)$, donde “L” es el lado del cuadrado [m] y “C” la distancia del circuito de corriente [m].
- Teniendo en cuenta que estas distancias son relativamente cortas en comparación a las del método anterior y que las distancias de inyección se mantendrán menores a 200m, se utilizó como equipo de prueba un Telurómetro digital, Marca FLUKE, Modelo 1625 para el cual no se requirió un pozo auxiliar para el extremo de inyección de corriente.
- Se realizaron las conexiones del equipo de prueba y los circuitos de medición según la Figura 6.
- Se procedió a dividir la distancia “C” en segmentos iguales (d), la cantidad de segmentos a dividir (n) según la accesibilidad en el recorrido del cable de prueba posteriormente realizaron las mediciones para diferentes valores de “c” considerando como mínimo 3 curvas (una para cada valor de c), para obtener una gráfica similar a la Figura 2.
- Con la gráfica obtenida y con la ayuda de la fórmula $P = 0,618(C+\lambda) - \lambda$ se graficó las curvas de intersección R vs λ basados en la siguiente consideración:

En el sistema de puesta a tierra en medición, el centro eléctrico está ubicado en \dot{O} , distante λ desde O ; por lo tanto, la distancia real desde el centro \dot{O} al electrodo de inyección de corriente es $C+\lambda$ y la verdadera resistencia es obtenida cuando el electrodo de potencial está a $0,618(C+\lambda)$ de distancia desde \dot{O} , es decir, el valor de P tomando como referencia O es igual a $0,618(C+\lambda) - \lambda$; asumiendo un cierto número de valores para λ , es posible calcular los correspondientes valores de P y a partir de estos leer los valores de resistencia en las curvas graficadas anteriormente (R vs P), obteniéndose las gráficas R vs λ . Este proceso debe repetirse para cada distancia C , hasta obtener un mínimo de tres curvas R vs λ (ver Figura 3).

- Finalmente, con la gráfica de R vs λ se obtuvo el valor de la resistencia medida en el baricentro formado por la intersección de las curvas cuya ordenada nos dio el verdadero valor de la resistencia del sistema en medición y cuya abscisa indicó el valor real de λ .

3.6. Método de análisis de datos

Considerando que la investigación es descriptiva el análisis de datos se realizó mediante gráficos y tablas, es decir, los datos y mediciones registradas en el instrumento de recolección de datos fueron procesados utilizando hojas de cálculo de Microsoft Office – Excel, donde se plasmaron los resultados mediante gráficas de tendencia y tablas comparativas; en función de los criterios de evaluación de cada método se analizó la confiabilidad de las mediciones realizadas y se cuantificó los recursos empleados en cada método.

3.7. Aspectos éticos

Cómo garantía de la calidad ética en la presente investigación se aplicaron principios éticos como la autonomía mediante el respeto de los derechos de autor, obteniendo información de fuentes confiables y manteniendo en reserva la información confidencial; la no-maleficencia respetando las leyes nacionales e internacionales sin hacer daño a ninguna persona o institución para el desarrollo de la investigación; la justicia siendo inclusivos rechazando cualquier tipo de discriminación y manteniendo la imparcialidad en los resultados obtenidos durante la ejecución de las mediciones y la evaluación de los resultados .

IV. RESULTADOS

En el presente trabajo de investigación consideró como casos de estudio dos sistemas de puesta a tierra los cuales se diferencian por las limitaciones en la distancia disponible a sus alrededores para la ejecución de las mediciones de resistencia, en ambos se aplicó el método convencional IEEE de medición de resistencia por caída de potencial al 62% y el método alternativo de intersección de curvas desarrollado por el Dr. Tagg.

4.1. Sistema de puesta a tierra con restricciones de distancia SPAT1

Como primer caso de estudio se consideró un sistema de puesta a tierra de grandes dimensiones que por sus condiciones geográficas la distancia disponible para realizar las mediciones es reducida o limitada, las dimensiones del sistema en prueba se observan en la Figura 7.

Este sistema cuenta con una distancia máxima disponible para hacer la prueba igual a 150m debido a que en sus alrededores se presentan abismos y construcciones con acceso restringido que impiden colocar el circuito de corriente a mayores distancias para la ejecución de las mediciones.



Figura 7. Dimensiones del sistema de puesta a tierra SPAT1.
Fuente: Google Maps – Octubre, 2021.

4.1.1. Medición de resistencia con método convencional en SPAT1

Para obtener el valor de la resistencia por el método convencional del sistema de puesta a tierra SPAT1 y determinar la confiabilidad de los resultados, se realizó lo siguiente:

Considerando que el sistema de puesta a tierra tiene una forma rectangular de 85mx30m la distancia más larga del sistema “D” fue calculada como la diagonal del rectángulo:

$$D = (85m^2 + 30m^2)^{1/2} = 90m.$$

La norma IEEE 81-2012 recomienda utilizar un circuito de corriente para la medición mayor o igual a cinco veces la longitud más larga, reemplazando se obtuvo:

$$C \geq 5 D$$

$$C \geq 5(90m) = 450m$$

Es decir, un circuito de corriente a una distancia de C=500m sería lo recomendable para realizar la medición, no obstante, por las limitaciones de distancia, las mediciones se realizaron a 150m que fue la distancia máxima disponible para realizar la prueba alrededor de la subestación, cabe resaltar que como la longitud del circuito de corriente no superó los 200m la medición utilizando un telurómetro. Quedando la configuración como en la siguiente Figura 8.

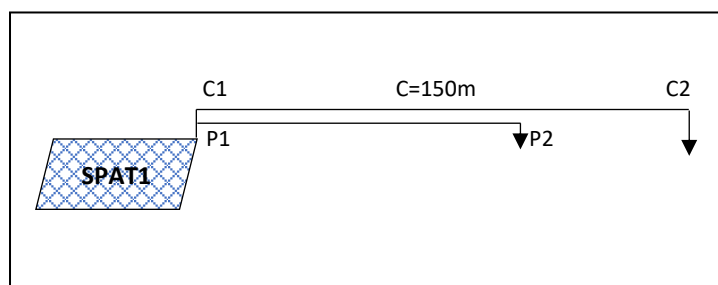


Figura 8. Circuito de prueba – método convencional SPAT1
Fuente: Elaboración propia.

Con la aplicación del método convencional se obtuvieron las medidas mostradas en la Tabla 3 y la Figura 9.

Tabla 3. Valores medidos método convencional SPAT1

Distancia P1-P2 [m]	Resistencia medida [Ω]
78 (52%)	0.74
93 (62%)	0.84
108 (72%)	0.98

Fuente: Elaboración propia.

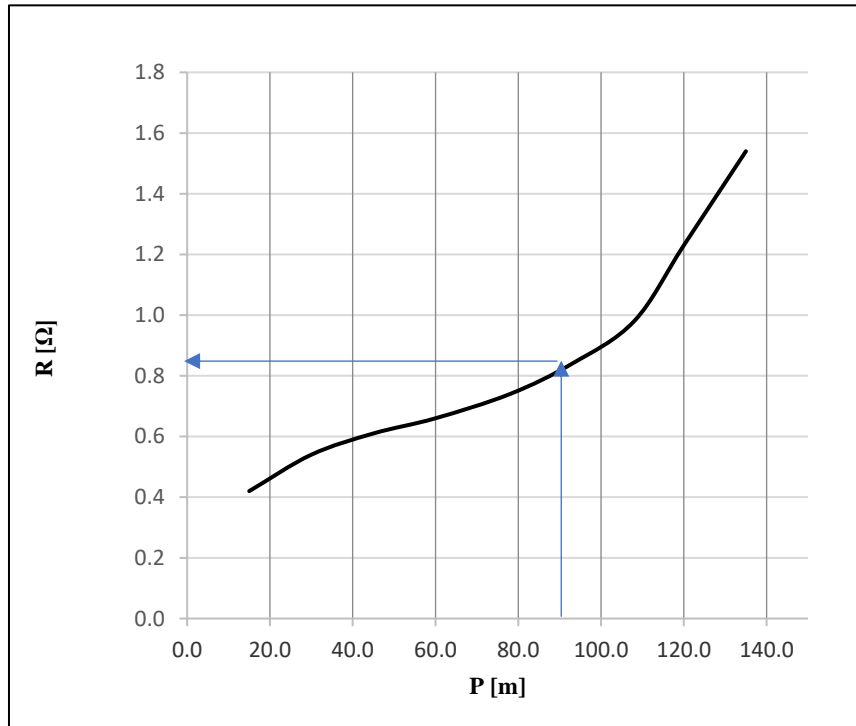


Figura 9. Resistencia medida R vs distancia P - método convencional SPAT1
Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados de las mediciones realizadas obtenemos que al 62% el valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra medido es 0.84Ω.

Para determinar si el resultado de la medición es un valor confiable que representa el valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra en prueba, encontramos la confiabilidad de las mediciones utilizando el criterio expuesto por Lee (2009), mediante el cálculo la variación de las mediciones de resistencia al 52%, 62% y 72% en la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Variación} = \frac{R_2 - R_1}{R} \times 100 \% \quad \begin{array}{l} \leq 10 \% \rightarrow \text{Resultado confiable.} \\ > 10 \% \rightarrow \text{Resultado no confiable.} \end{array}$$

Reemplazando con los valores medidos de $R_1 = 0.74\Omega$, $R_2 = 0.98\Omega$ y $R = 0.84\Omega$

$$\% \text{ Variación} = \frac{0.98 - 0.74}{0.84} \times 100 \% = 28.5\%$$

Por lo tanto, como la variación encontrada es mayor al 10%, el resultado de la resistencia medida de $R = 0.84 \Omega$ no es un resultado confiable o representativo del sistema de puesta a tierra medido.

Para la aplicación del método convencional en el primer sistema de puesta a tierra en estudio, se utilizaron los recursos mostrados en la Tabla 4 en la cual también se muestra los costos relacionados con el alquiler o adquisición de estos recursos y en la Tabla 5 se muestra el tiempo empleado para la aplicación del método convencional desde las actividades previas hasta la etapa de procesamiento de las mediciones u obtención del resultado final.

Tabla 4. Recursos empleados en el método convencional SPAT1

Recurso	Descripción	Unidad	Cantidad	Días	Costo Unitario (US\$.)	Costo total (US\$.)
Equipos e instrumentos	Teluometro Fluke 1625 (Alquiler)	Und.	1	1	60.00	60.00
Materiales	---	---	---	---	0.00	0.00
Recurso humano	Ejecutor de pruebas	Und.	1	1	290	290
	Ayudantes	Und.	2	1	90	180
Total, equipos e instrumentos (US\$.)						60.00
Total, materiales (US\$.)						0.00
Total, recurso humano (US\$.)						470.00
Total (US\$.)						530.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Tiempo empleado en el método convencional SPAT1

Descripción	Tiempo (hrs)
Actividades previas	1
Ejecución de mediciones	1.5
Procesamiento de datos	0

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Medición de resistencia con método alternativo en SPAT1

Para obtener el valor de la resistencia por el método alternativo del sistema de puesta a tierra SPAT1 y determinar la confiabilidad de los resultados, se realizó lo siguiente:

Considerando el sistema de puesta a tierra en prueba de 85mx30m y teniendo en cuenta las recomendaciones para esta medición se tomó arbitrariamente varias longitudes para el circuito de corriente en la medición teniendo en cuenta que estas distancias se encuentren entre $L \leq C \leq 2(L)$, en un sistema cuadrado L es un lado del cuadrado, por lo tanto, se consideró L como el dado más grande de la malla en prueba, es decir $85 \leq C \leq 170$.

De las mediciones realizadas se obtuvo que las curvas finales se interceptan para las distancias de inyección de corriente de C=80m, 90m y 130m, los valores medidos se muestran en la Figura 10.

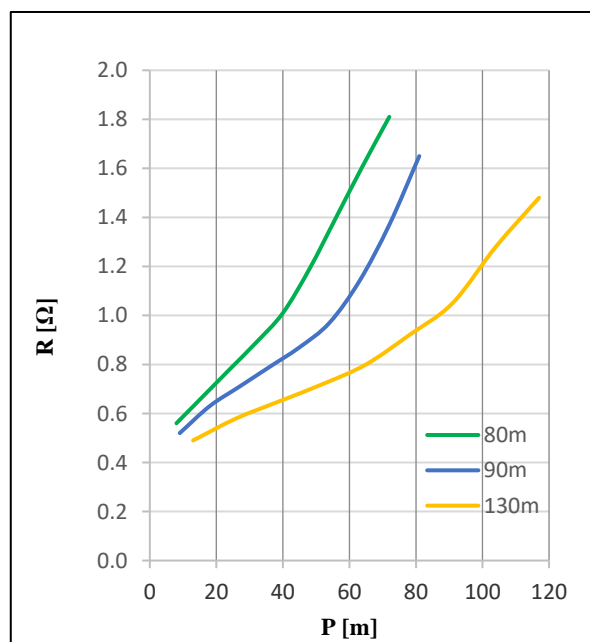


Figura 10. Resistencia medida R vs distancia P - método alternativo SPAT1.
Fuente: Elaboración propia.

Utilizando las medidas mostradas en la Figura 10 y utilizando la fórmula $P=0,618(C+\lambda)-\lambda$ para distintos valores de λ se encontró los valores de resistencia R en función de λ .

En esta etapa para facilitar el procesamiento de las medidas obtenidas se utilizó una macro desarrollada en Excel la cual de manera automática realizó los cálculos de la Tabla 6 y graficó curvas de intersección R vs λ mostrado en la Figura 11.

Tabla 6. Cálculo de P[m] y R[Ω] para distintos valores de λ[m] - SPAT1

C1= 80m			C2= 90m			C3= 130m		
λ	P(λ)	R(λ)	λ	P(λ)	R(λ)	λ	P(λ)	R(λ)
0	49.4	1.228	0	55.6	1.001	0	80.3	0.943
8	46.4	1.154	9	52.2	0.950	13	75.4	0.896
16	43.3	1.085	18	48.7	0.912	26	70.4	0.850
24	40.3	1.016	27	45.3	0.873	39	65.4	0.804
32	37.2	0.968	36	41.9	0.842	52	60.5	0.772
40	34.2	0.922	45	38.4	0.812	65	55.5	0.742
48	31.1	0.878	54	35.0	0.781	78	50.5	0.712
56	28.0	0.836	63	31.6	0.750	91	45.6	0.685
64	25.0	0.794	72	28.1	0.720	104	40.6	0.659
72	21.9	0.752	81	24.7	0.689	117	35.6	0.632
80	18.9	0.710	90	21.2	0.659	130	30.7	0.605
88	15.8	0.668	99	17.8	0.628	143	25.7	0.578
96	12.8	0.626	108	14.4	0.586	156	20.7	0.544
104	9.7	0.584	117	10.9	0.544	169	15.8	0.509

Fuente: Elaboración propia.

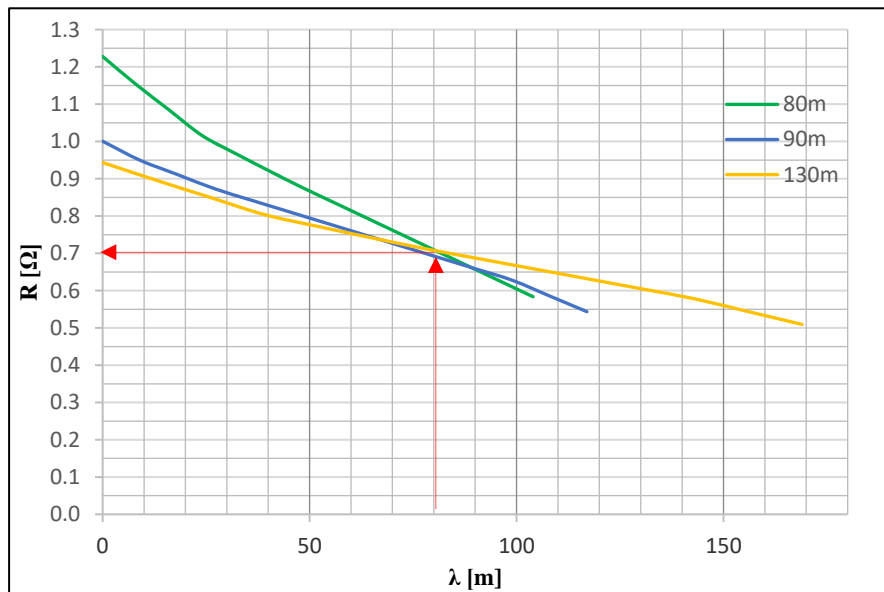


Figura 11. Gráfica de resistencia R vs distancia λ en SPAT1.

Fuente: Elaboración propia.

Gráficamente la resistencia del SPAT1 es 0.70Ω, utilizando el criterio de confiabilidad del método alternativo expuesto por Tagg. (1964), obtenemos la confiabilidad de los resultados:

$$\text{N}^\circ \text{ Curvas interceptadas} \quad \left\{ \begin{array}{l} \geq 3 \rightarrow \text{Resultado confiable.} \\ < 3 \rightarrow \text{Resultado no confiable.} \end{array} \right.$$

Por lo tanto, como tenemos tres curvas interceptadas, el resultado de la resistencia del sistema de puesta a tierra medido $R = 0.70 \Omega$ es un resultado confiable.

Para la aplicación del método alternativo en el primer sistema de puesta a tierra en estudio, se utilizaron los recursos mostrados en la Tabla 7 en la cual también se muestra los costos relacionados con el alquiler o adquisición de estos recursos y en la Tabla 8 se muestra el tiempo empleado para la aplicación del método convencional desde las actividades previas hasta la etapa de procesamiento de las mediciones u obtención del resultado final.

Tabla 7. Recursos empleados en el método alternativo SPAT1

Recurso	Descripción	Unidad	Cantidad	Días	Costo Unitario (US\$.)	Costo total (US\$.)
Equipos e instrumentos	Telurometro Fluke 1625 (Alquiler)	Und.	1	1	60.00	60.00
Materiales	---	---	---	---	0.00	0.00
Recurso humano	Ejecutor de pruebas	Und.	1	1	290	290
	Ayudantes	Und.	3	1	90	270
Total, equipos e instrumentos (US\$.)						60.00
Total, materiales (US\$.)						0.00
Total, recurso humano (US\$.)						560.00
Total (US\$.)						620.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Tiempo empleado en el método alternativo SPAT1

Descripción	Tiempo (hrs)
Actividades previas	1
Ejecución de mediciones	3.5
Procesamiento de datos	0.5

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos de la aplicación de ambos métodos se obtiene la eficiencia en función de los indicadores mostrados en la Tabla 9.

Tabla 9. *Eficiencia de los métodos de medición SPAT1*

Eficiencia / indicador	Resultado	
	Método convencional	Método alternativo
Valor de resistencia medida (Ω)	0.84	0.70
Confiabilidad de la medición	No confiable	Confiable
Cantidad de recursos utilizados (Und.)	Equipos e instrumentos	1
	Materiales	0
	Recurso humano	3
Costos de los recursos (US\$.)	530.00	620.00
Tiempo empleado (hrs.)	Actividades previas	1
	Ejecución de mediciones	1.5
	Procesamiento de datos	0

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 9 se observa que, en un sistema de puesta a tierra de grandes dimensiones con restricciones de distancia para la ejecución de las mediciones, el método alternativo es el más eficiente independiente de los recursos, costos y tiempo empleado debido a que el método convencional no presenta resultados confiables.

4.2. Sistema de puesta a tierra sin restricciones de distancia SPAT2

Como segundo caso de estudio se consideró un sistema de puesta a tierra de grandes dimensiones que sus condiciones geográficas no restringen la distancia disponible para realizar las mediciones, las dimensiones del sistema en prueba se observan en la Figura 12.



Figura 12. Dimensiones del sistema de puesta a tierra SPAT2.
Fuente: Google Maps – Octubre, 2021.

4.2.1. Medición de resistencia con método convencional en SPAT2

Para obtener el valor de la resistencia por el método convencional del sistema de puesta a tierra SPAT2 y determinar la confiabilidad de los resultados, se realizó lo siguiente:

Considerando que el sistema de puesta a tierra tiene una forma rectangular de 73mx57m la distancia más larga del sistema “D” fue calculada como la diagonal del rectángulo:

$$D = (73m^2 + 57m^2)^{1/2} = 93m.$$

La norma IEEE 81-2012 recomienda utilizar un circuito de corriente para la medición mayor o igual a cinco veces la longitud más larga, reemplazando se obtuvo:

$$C \geq 5 D$$

$$C \geq 5(93m) = 465m$$

En campo se tomó como distancia de prueba $C=575\text{m}$ como la longitud del circuito de corriente supera los 200m para la medición se utilizó un equipo de prueba con fuente de corriente (equipo multifunción OMICON CPC100+CU1).

Para la ejecución de la prueba inyectando corriente no menor a 6A, se requirió la elaboración de 2 pozos de puesta a tierra con una medida en conjunto de 6.57 ohm que permitió inyectar 6A en el circuito de prueba, la configuración para la medición quedó como en la Figura 13.

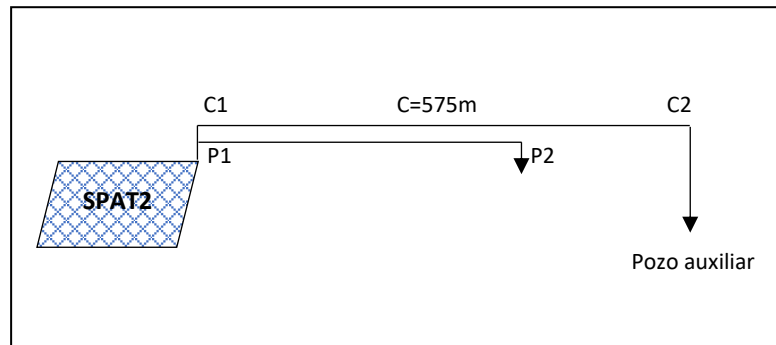


Figura 13. Circuito de prueba – método convencional SPAT2.
Fuente: Elaboración propia.

Con la aplicación del método convencional se obtuvieron las medidas mostradas en la Tabla 10 y la Figura 14.

Tabla 10. Valores medidos método convencional SPAT2

Distancia P1-P2 [m]	Resistencia medida [Ω]
299 (52%)	0.086
357 (62%)	0.089
414 (72%)	0.093

Fuente: Elaboración propia.

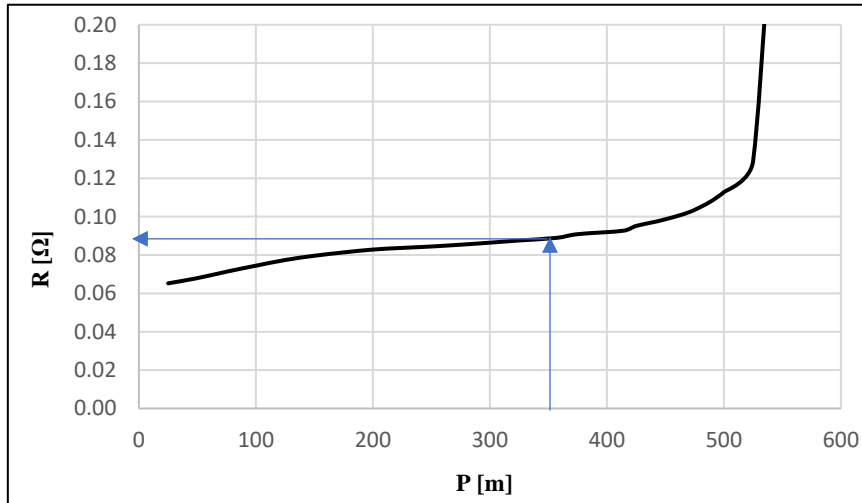


Figura 14. Resistencia medida R vs distancia P - método convencional SPAT2.
Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados de las mediciones realizadas obtenemos que al 62% el valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra medido es 0.089Ω

Con la variación de las mediciones de resistencia al 52%, 62% y 72%, utilizando el criterio de confiabilidad del método convencional expuesto por Lee (2009), obtenemos la confiabilidad de los resultados:

$$\% \text{ Variación} = \frac{R_2 - R_1}{R} \times 100 \% \quad \begin{array}{l} \leq 10 \% \rightarrow \text{Resultados confiables} \\ > 10 \% \rightarrow \text{Resultados no confiables} \end{array}$$

Reemplazando para $R_1 = 0.086\Omega$, $R_2 = 0.093\Omega$ y $R = 0.089\Omega$

$$\% \text{ Variación} = \frac{0.093 - 0.086}{0.089} \times 100 \% = 7.86\%$$

Por lo tanto, como la variación encontrada es menor a 10%, el resultado de la resistencia medida $R = 0.089 \Omega$ no es un resultado confiable.

Para la aplicación del método convencional en el segundo sistema de puesta a tierra en estudio, se utilizaron los recursos mostrados en la Tabla 11 en la cual también se muestra los costos relacionados con el alquiler o adquisición de estos recursos y en la Tabla 12 se muestra el tiempo empleado para la aplicación del método convencional desde las actividades previas hasta la etapa de procesamiento de las mediciones u obtención del resultado final.

Tabla 11. Recursos empleados en el método alternativo SPAT2

Recurso	Descripción	Unidad	Cantidad	Días	Costo Unitario (US\$.)	Costo total (US\$.)
Equipos e instrumentos	Telurómetro Fluke 1625 (Alquiler)	Und.	1	2	60.00	120.00
	Equipo Omicron CPC100 (Alquiler)	Und.	1	2	300.00	600.00
	Fuente AC Omicron CPC CU1 (Alquiler)	Und.	1	2	300.00	600.00
Materiales	Mat. Para elaborar pozo auxiliar	Und.	2	---	250.00	500.00
Recurso humano	Ejecutor de pruebas	Und.	1	2	290	580
	Ayudantes	Und.	6	2	90	1080
Total, equipos e instrumentos (US\$.)						1320.00
Total, materiales (US\$.)						500.00
Total, recurso humano (US\$.)						1660.00
Total (US\$.)						3480.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Tiempo empleado en el método alternativo SPAT2

Descripción	Tiempo (hrs)
Actividades previas	8
Ejecución de mediciones	2.5
Procesamiento de datos	0.5

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Medición de resistencia con método alternativo en SPAT2

Para obtener el valor de la resistencia por el método alternativo del sistema de puesta a tierra SPAT2 y determinar la confiabilidad de los resultados, se realizó lo siguiente:

Considerando el sistema de puesta a tierra en prueba de 73mx57m y teniendo en cuenta las recomendaciones para esta medición se tomó arbitrariamente varias longitudes para el circuito de corriente en la medición teniendo en cuenta que estas distancias se encuentren entre $L \leq C \leq 2(L)$, en un sistema cuadrado L es un lado del cuadrado, por lo tanto, se consideró L como el dado más grande de la malla en prueba, $L=73m$.

De las mediciones realizadas se obtuvo que las curvas finales se interceptan para las distancias de inyección de corriente de $C=90m$, $120m$ y $150m$, los valores medidos se muestran en la Figura 15.

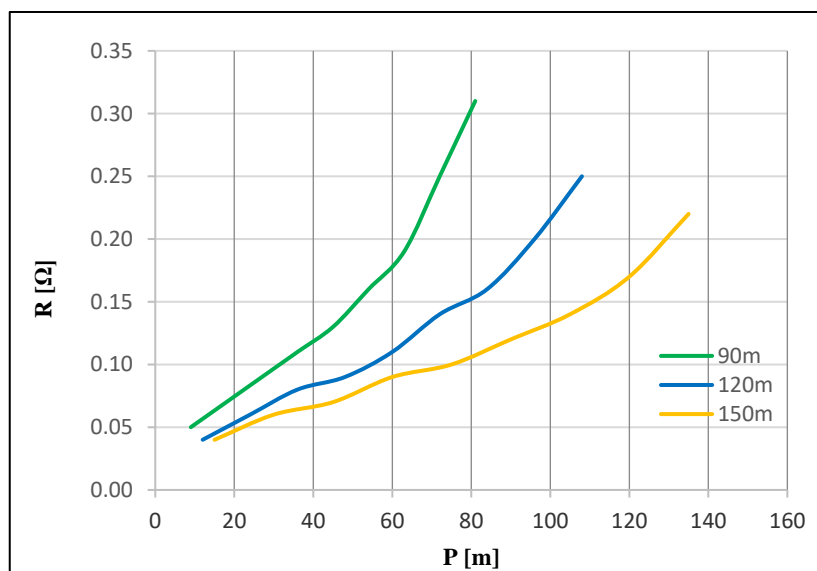


Figura 15. Resistencia medida R vs distancia P - método alternativo SPAT2.
Fuente: Elaboración propia.

Utilizando las medidas mostradas en la Figura 15 y utilizando la fórmula $P=0,618(C+\lambda)-\lambda$ para distintos valores de λ se encontró los valores de resistencia R en función de λ .

En esta etapa para facilitar el procesamiento de las medidas obtenidas se utilizó una macro desarrollada en Excel la cual de manera automática realizó los cálculos de la Tabla 13 y graficó curvas de intersección R vs λ mostrado en la Figura 16.

Tabla 13. Cálculo de P[m] y R[Ω] para distintos valores de λ[m] – SPAT2

C1= 90m			C2= 120m			C3= 150m		
λ	P(λ)	R(λ)	λ	P(λ)	R(λ)	λ	P(λ)	R(λ)
0	55.6	0.165	0	74.2	0.144	0	92.7	0.124
9	52.2	0.154	12	69.6	0.134	15	87.0	0.116
18	48.7	0.142	24	65.0	0.122	30	81.2	0.108
27	45.3	0.131	36	60.4	0.111	45	75.5	0.101
36	41.9	0.123	48	55.8	0.103	60	69.8	0.097
45	38.4	0.115	60	51.2	0.095	75	64.1	0.093
54	35.0	0.108	72	46.7	0.089	90	58.3	0.088
63	31.6	0.100	84	42.1	0.085	105	52.6	0.080
72	28.1	0.092	96	37.5	0.081	120	46.9	0.072
81	24.7	0.085	108	32.9	0.075	135	41.1	0.067
90	21.2	0.077	120	28.3	0.067	150	35.4	0.064
99	17.8	0.070	132	23.7	0.060	165	29.7	0.060
108	14.4	0.062	144	19.2	0.052	180	23.9	0.052
117	10.9	0.054	156	14.6	0.044	195	18.2	0.044

Fuente: Elaboración propia.

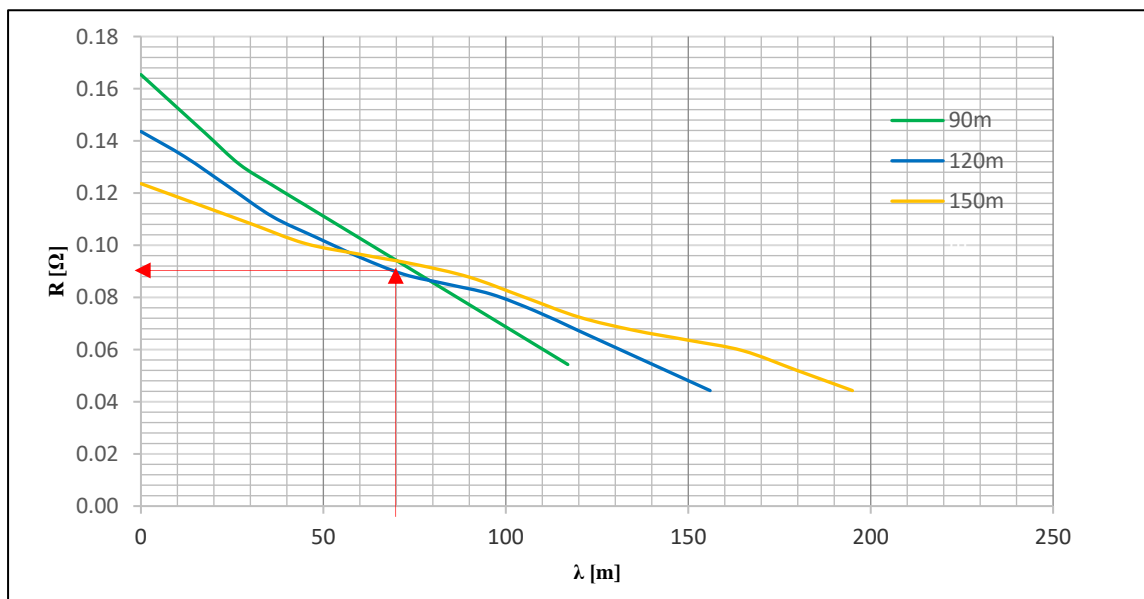


Figura 16. Gráfica de resistencia R vs distancia λ en SPAT2.

Fuente: Elaboración propia.

Gráficamente la resistencia del SPAT2 es 0.092Ω, utilizando el criterio de confiabilidad del método alternativo expuesto por Tagg. (1964), obtenemos la confiabilidad de los resultados:

$$\text{N}^\circ \text{ Curvas interceptadas} \begin{cases} \geq 3 \rightarrow \text{Resultado confiable.} \\ < 3 \rightarrow \text{Resultado no confiable.} \end{cases}$$

Por lo tanto, como tenemos tres curvas interceptadas, el resultado de la resistencia del sistema de puesta a tierra medido $R = 0.092 \Omega$ es un resultado confiable.

Para la aplicación del método alternativo en el primer sistema de puesta a tierra en estudio, se utilizaron los recursos mostrados en la Tabla 14 en la cual también se muestra los costos relacionados con el alquiler o adquisición de estos recursos y en Tabla 15 se muestra el tiempo empleado para la aplicación del método convencional desde las actividades previas hasta la etapa de procesamiento de las mediciones u obtención del resultado final.

Tabla 14. Recursos empleados en el método alternativo SPAT2

Recurso	Descripción	Unidad	Cantidad	Días	Costo Unitario (US\$.)	Costo total (US\$.)
Equipos e instrumentos	Telurómetro Fluke 1625 (Alquiler)	Und.	1	1	60.00	60.00
Materiales	---	---	---	---	0.00	0.00
Recurso humano	Ejecutor de pruebas	Und.	1	1	290	290
	Ayudantes	Und.	3	1	90	270
Total, equipos e instrumentos (US\$.)						60.00
Total, materiales (US\$.)						0.00
Total, recurso humano (US\$.)						560.00
Total (US\$.)						620.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Tiempo empleado en el método alternativo SPAT2

Descripción	Tiempo (hrs)
Actividades previas	1
Ejecución de mediciones	4
Procesamiento de datos	0.5

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos de la aplicación de ambos métodos se obtiene la eficiencia en función de los indicadores mostrados en la Tabla 16.

Tabla 16. Eficiencia de los métodos de medición SPAT2

Eficiencia / indicador	Resultado		
	Método convencional	Método alternativo	
Valor de resistencia medida (Ω)	0.089	0.092	
Confiabilidad de la medición	Confiable	Confiable	
Cantidad de recursos utilizados (Und.)	Equipos e instrumentos	3	1
	Materiales	2	0
	Recurso humano	7	4
Costos de los recursos (US\$.)	3480.00	620.00	
Tiempo empleado (hrs.)	Actividades previas	8	1
	Ejecución de mediciones	2.5	4
	Procesamiento de datos	0.5	0.5

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16 se observa que, cuando no existen restricciones de distancia para la ejecución de las mediciones en un sistema de puesta a tierra de grandes dimensiones, ambos métodos son confiables, no obstante, con el método alternativo se optimiza mejor la cantidad de los recursos, los costos y el tiempo empleado haciéndolo más eficiente.

V. DISCUSIÓN

En la investigación se ha propuesto como primer objetivo específico determinar la eficiencia de la aplicación del método convencional y del método alternativo de medición de resistencia en un sistema de puesta a tierra de grandes dimensiones que por sus condiciones geográficas la distancia disponible para realizar las mediciones es reducida o limitada, en tal sentido, Silguero (2018) afirma que ambos métodos brindan resultados confiables pero la dificultad para el procesamiento de las mediciones por el método alternativo lo hace menos eficiente respecto al método convencional y que con el uso de una herramienta computacional se puede optimizar este método eliminando el tiempo adicional para el procesamiento de los resultados. En la presente investigación se concuerda parcialmente con lo expuesto por el autor porque cuando existen limitaciones de distancia en grandes sistemas de puesta a tierra se encontró que el método convencional brinda resultados confiables, pero al aplicar el método convencional en estas condiciones sin cumplir con el mínimo de 5 veces la longitud más larga del sistema de puesta a tierra en medición, los resultados no son confiables o representativos obteniéndose variaciones mayores a 10% de las medidas de resistencia al 52% y 72% respecto al 62% de la longitud del circuitito de prueba, se concuerda con la afirmación del autor al decir que con el uso de una herramienta computacional se optimiza el tiempo empleado para el procesamiento de los resultados haciendo más práctico el método alternativo porque en la presente investigación se utilizó una plantilla desarrollada en Excel como herramienta computacional que permitió procesar los resultados de las mediciones mientras se iban registrando las medidas con los equipos de prueba, obteniendo los resultados casi de manera instantánea después de finalizada las mediciones al igual que con el método convencional.

En la investigación realizada por Pérez (2019), se identificó que la aplicación del método alternativo es más eficiente utilizando un equipo de pruebas con fuente de inyección de corriente, en tal sentido la presente investigación difiere con dicha afirmación porque para mediciones en grandes sistemas de puesta a tierra con restricciones de distancia como el SPAT1 estudiado en el que la distancia disponible para la ejecución de las mediciones fue menor a 200m, las mediciones pueden ser realizadas con un telurómetro cuya utilización es más eficiente en

términos de costos porque su costo de alquiler es aproximadamente el 10% del costo incurrido con el equipo que tiene fuente de inyección de corriente, además, para la ejecución de las mediciones con telurómetro se utilizan picas clavadas directamente al suelo como electrodos de prueba, pero para el equipo el equipo con fuente de inyección de corriente se requiere que el circuito de pruebas tenga una baja resistencia y esto se logra utilizando un pozo de tierra o un conjunto de pozos como electrodo auxiliar cuya resistencia debe ser menor o igual a 10Ω , es decir, con la utilización del telurómetro se disminuyen los costos relacionados a la adquisición de materiales para la elaboración del pozo auxiliar, personal para su construcción y el tiempo para la elaboración del mismo.

El segundo objetivo específico de la presente investigación fue determinar la eficiencia de la aplicación del método convencional y el método alternativo de medición de resistencia en un sistema de puesta a tierra de grandes dimensiones que por sus condiciones se tenía acceso a distancias mayores a cinco veces la longitud más larga para la ejecución de las mediciones. Según Kostic (2019) la aplicación del método convencional se hace más eficiente cuando se realizan las mediciones a frecuencias distintas a la industrial para posteriormente realizar el procesamiento de los resultados a la frecuencia nominal del sistema y utilizando varillas de perforación como electrodos auxiliares se realizan las mediciones sin indisponer el sistema eléctrico, en la presente investigación se tiene coincidencias con lo expuesto por el autor porque para la ejecución de las mediciones en el sistema de puesta a tierra sin restricciones de distancia se utilizó como equipo de prueba con fuente de inyección corriente el CPC-100 + CPCU1 a frecuencias de prueba 40Hz y 80Hz que posteriormente mediante el software del equipo se procesa y muestra a los valores a (60Hz), obteniéndose de esta manera resultados confiables sin indisponer o sacar fuera de servicio la subestación eléctrica por inconvenientes en sus sistemas de protección durante las mediciones, estas mediciones con la subestación en servicio no podrían realizarse con una fuente de prueba directamente a la frecuencia nominal del sistema por el peligro de activar las protecciones de la subestación y las interferencias de corrientes parásitas en las mediciones; a diferencia del autor quien utilizó varillas de perforación como electrodos auxiliares, en la presente investigación se elaboró dos pozos auxiliar conectados entre sí los cuales sirvieron como electrodo auxiliar

para la inyección de corriente incrementado las actividades previas en un día adicional para la elaboración de este pozo y los recursos para su elaboración.

Para el caso de sistemas de puesta a tierra en los que no se tienen restricciones de distancia para la ejecución de las mediciones, se concuerda con lo descrito por Bonilla e Insignares (2018), cuando dicen que ambos métodos son confiables y que utilizando herramientas computacionales para el procesamiento de los resultados en el método alternativo se hace más eficiente, en la presente investigación se coincide con lo expuesto por los autores porque al aplicar el método convencional utilizando una distancia de inyección de corriente mayor a cinco veces la longitud más larga se validó que los resultados de las mediciones obtenidas son confiables con una variación menor al 10% en las medidas de resistencia registradas al 52% y 72% respecto al 62% de la distancia de inyección de corriente y al aplicar el método convencional se obtuvieron resultados confiables con 3 curvas que se interceptan entre sí dando un valor de resistencia representativo del sistema de puesta a tierra medido, también, se verificó que al comparar el método alternativo con el convencional, en términos de tiempo, al no utilizar un equipo con una fuente de corriente con el método alternativo se reduce el tiempo necesario para las actividades previas equivalentes a un día para la elaboración de los pozos auxiliares.

Considerando lo expuesto por Pérez (2019), referente a que el método de intersección de curvas es más eficiente utilizando un equipo con fuente de inyección de corriente, se concuerda con dicha afirmación en términos de confiabilidad y precisión de los resultados cuando los valores medidos son bajos, es decir para un sistema de puesta a tierra cuya resistencia es muy baja como fue el caso del segundo sistema de puesta a tierra estudiado (SPAT2) en el que los valores medios por lo general eran menores a 0.1Ω , con el equipo con fuente de corriente se obtenían forma más rápida y precisa los valores de las mediciones, a diferencia del telurómetro que para obtener el valor medido se tenía que repetir varias veces la misma prueba debido a la precisión y escala de medición propia de este tipo de equipos de prueba, cabe resaltar que, el equipo de pruebas con fuente de inyección de corriente se caracteriza por tener la ventaja que a mayor corriente de prueba los resultados o valores medidos son más estables y precisos tal como lo especifica OMICRON en el manual del equipo de pruebas al decir que

la precisión de las mediciones es directamente proporcional a la corriente de prueba.

La norma IEEE Std. 81 (2012), para las mediciones de resistencia de tierra por el método convencional de caída de potencial al 62% afirma que si no se escoge correctamente la distancia del circuito de inyección de corriente, se va a producir un traslape entre las zonas de influencia del sistema de tierra medido y el punto de intención de corriente cuando la distancia escogida no es lo suficientemente grande; en la presente investigación se coincide con dicha afirmación porque al aplicar el método convencional con el circuito de corriente a una distancia menor a la recomendada por la norma tal como fue el caso del primer sistema de puesta a tierra estudiado (SPAT1) se observó que las zonas de influencia entre el sistema de puesta a tierra medido y el punto de inyección de corriente se traslapaban obteniéndose una tendencia pronunciada de la curva de resistencia vs distancia (Figura 9) por lo que las mediciones cercanas al 62% no mantenían la estabilidad o tendencia plana requerida para la confiabilidad de los resultados, al aplicar el método convencional en el segundo sistema de puesta a tierra estudiado (SPAT2) en donde la distancia de inyección de corriente fue más de cinco veces la longitud más larga del sistema de puesta a tierra medido, se obtuvo una curva de resistencia vs distancia (Figura 14) con una tendencia plana cercana al 62%, evidenciándose que no existía traslape entre el área de influencia del sistema de puesta a tierra medido y el electrodo de inyección de corriente tal como lo indica la norma.

VI. CONCLUSIONES

- Se concluye que en grandes sistemas de puesta a tierra con restricciones de distancia para la ejecución de las mediciones de resistencia, el método de medición más eficiente es el alternativo independientemente del equipo de prueba utilizado, los costos o del tiempo empleado para su ejecución, porque, al aplicar el método convencional con restricciones de distancia para la medición (a distancias menores a 5 veces la longitud más larga de la malla) la resistencia medida al 62% presenta variaciones mayores a 10% lo cual significa que el valor medido no es la resistencia real del sistema de puesta a tierra en medición, no obstante con el método convencional utilizando circuitos de medición de más pequeños se obtienen resultados confiables haciendo más eficiente el método alternativo respecto al convencional.
- Se concluye que en grandes sistemas de puesta a tierra en los que no se tienen restricciones de distancia para la ejecución de las mediciones, los valores de resistencia obtenidos con el método alternativo y el convencional son confiables obteniéndose en ambos casos mediciones representativas del sistema de puesta a tierra medido, no obstante, considerando los recursos empleados en la ejecución de cada método, en el método alternativo se utiliza menos recursos, es decir, este método realiza con menos del 20% de los costos incurridos al aplicar el método convencional y empleando el 50% del tiempo total requerido en el método convencional por lo tanto el método alternativo es más eficiente.
- En general se valida la hipótesis planteada, concluyendo que el método alternativo es el más eficiente independientemente del sistema de puesta a tierra medido (con o sin restricciones de distancia) porque en ambos casos con el método alternativo se obtienen resultados confiables y cuando no existen restricciones de distancia se utilizan menores recursos en comparación con el método convencional, además, es necesario tener en cuenta que el uso de herramientas computacionales contribuyen en la eficiencia del método alternativo, facilitando el procesamiento de las mediciones tomadas con los equipos de prueba y disminuyendo el tiempo empleado para obtener el valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra medido.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda cuando se tenga restricciones de distancia para la ejecución de las mediciones, aplicar el método alternativo por intersección de curvas desarrollado por el Dr. Tagg, con la ayuda de herramientas computacionales para el procesamiento de los resultados.
- Durante la ejecución de las mediciones se recomienda verificar la tendencia de las medidas, de preferencia ir graficándolas y si hay puntos que no siguen la tendencia de las mediciones repetir la medición.
- En sistemas de puesta a tierra cuyos valores de resistencia son bajos (en el orden de los 0.1Ω), se recomienda de preferencia utilizar un equipo de prueba con fuente de inyección de corriente y realizar las mediciones a una corriente mayor o igual a 6A, esto con el fin de obtener medias más precisas y evitar repetir las mediciones a causa de los puntos medidos no siguen la tendencia.
- Se recomienda cuando se aplique el método convencional, tratar de utilizar la mayor distancia posible para el circuito de inyección de corriente, con el fin de obtener una curva de medición con tendencia plana y en consecuencia una mayor confiabilidad en los resultados.
- Se recomienda evitar realizar las mediciones bajo condiciones climáticas adversas que puedan originar alguna descarga en el sistema de puesta a tierra poniendo en riesgo a las personas y a los equipos de pruebas que estarán trabajando directamente en el sistema de puesta a tierra.
- Se recomienda a futuro investigar la eficiencia de aplicar el método alternativo utilizando un equipo con fuente de inyección de corriente y varillas de perforación como electrodo auxiliar tal como lo realizó Kostic (2019) con el método convencional.

REFERENCIAS

- ALYAMI, Saed. Grid grounding calculations for a 132-kv Substation using soil backfilling. Revista IEEE Access [en línea]. Agosto 2019, n° 7. [Fecha de consulta: 18 de abril del 2021]. Disponible en <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8784152>.
- BONILLA, Juliana e INSIGNARES, Hugo. Herramienta computacional para el análisis de las mediciones de la resistencia de un sistema a tierra mediante el método de la pendiente. Barranquilla: Universidad del Norte, 2018.
- CEGARRA, José. Evaluación de la eficiencia de la investigación: Metodología de la investigación científica y tecnológica. México: Ed. Díaz de Santos, 2015 ISBN: 9788499693972
- Enerdata. Anuario estadístico mundial de energía 2021. Publicaciones [en línea]. Junio 2021. [Fecha de consulta: 25 de agosto del 2021]. Disponible en <https://datos.enerdata.net/energia-total/datos-consumo-internacional.html>.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE]. Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System, in IEEE Std 81-2012 (Revision of IEEE Std 81-1983). Diciembre 2012.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE]. Guide for Safety in AC Substation Grounding, in IEEE Std 80-2000. Agosto 2000.
- LEE, Willis. Electrical Power Equipment Maintenance and Testing. 2da ed. Estados Unidos, Florida: Paul Gill, 2008. ISBN: 978-1574446562
- KOONTZ, Harold y Weihrich, HEINZ. Administración una perspectiva global. 12va Edición. México: Editorial McGraw-Hill, 2004. ISBN: 9789701039496
- KOSTIC, Vojin. Doprinos racionalizaciji merenja impedanse sistema uzemljenja srednjenaponskih transformatorskih stanica. Revista Tehnika - Elektrotehnika [en línea]. Enero 2019, n° 68. [Fecha de consulta: 07 de mayo del 2021]. Disponible en <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0040-2176/2019/0040-21761901097K.pdf>.

- MEZA, Christian & SABOGAL, Andrés. Análisis de metodologías para la cuantificación de pérdidas económicas por presencia de armónicos eléctricos y ocurrencia de SAGS de tensión. Bogotá: Universidad de la Salle, 2018.
- Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. Código nacional de electricidad – Suministro CNE Suministro, 2011.
- OMICRON electronics GmbH. Manual del usuario CPC 100. Publicaciones OMICRON [en línea]. Mayo 2021, versión ESP 1036. [Fecha de consulta: 24 de agosto del 2021]. Disponible en <https://my.omicronenergy.com/download/document/63802D7D-DA91-468D-9645-C2B9D66A18B0/>.
- OMICRON electronics GmbH. Manual del usuario CP CU1. Publicaciones OMICRON [en línea]. Mayo 2021, versión ESP 1030. [Fecha de consulta: 24 de agosto del 2021]. Disponible en <https://my.omicronenergy.com/download/document/13BA816B-9153-4AEC-B467-039852AC7B31/>.
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [OSINERMIN]. Diagramas unifilares de las instalaciones de generación y transmisión. Revista publicaciones Osinermin [en línea]. Mayo 2021 [Fecha de consulta: 30 de mayo del 2021]. Disponible en https://issuu.com/osinergmin/docs/diagramas_unifilares_de_las_instalaciones_de_gener.
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [OSINERMIN]. La industria de la electricidad en el Perú. Revista publicaciones Osinermin [en línea]. Febrero 2016 [Fecha de consulta: 30 de mayo del 2021]. Disponible en https://issuu.com/osinergmin/docs/09_-_la_industria_de_la_electricidad_en_el_peru_25.
- Organización Internacional de Normalización [ISO]. Sistemas de gestión de la calidad - Fundamentos y vocabulario. Estándar ISO 9000. 4ta ed. Setiembre 2015. Disponible en <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:es>. ISBN13: 9780580788789

- PÉREZ, Maykop. Proposta de instrumentação para realizar as medições do Sistema de Aterramento da Subestação do Xitoto. Revista Revista de Ingeniería Energética [en línea]. Enero 2019, n° 40. [Fecha de consulta: 07 de mayo del 2021]. Disponible en <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=1da85c1a-14bf-45a1-9f7d-40cdbef139b8%40sessionmgr102>.
ISSN: 1815-5901
- SAYAS, Leonidas. Sistemas de puesta a tierra en instalaciones de media y alta tensión. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [Osinermin], 2014.
- SILGUERO, Andrea. Aplicación informática que optimiza la medición de resistencia de sistemas de puesta a tierra: Universidad del Norte, 2018.
- SOTO, José y GARCIA, Benjamin. Método alternativo para la medición de grandes sistemas de puesta a tierra - modelo en prueba. Revista LACCEI, 3ra edición. Junio 2005.
- TAGG, G.F., Measurement of earth-electrode resistance with particular reference to earth-electrode Systems covering a large area”, Revista Procedures IEEE. Diciembre 1964, Vol III, N° 12.

ANEXOS

ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	
¿Cuál es el método más eficiente para la medición de resistencia en grandes sistemas de puesta a tierra?	Evaluar el método más eficiente para la medición de resistencia en grandes sistemas de puesta a tierra	El método alternativo es el más eficiente en términos de confiabilidad en los resultados de resistencia, costos y tiempo empleado para la ejecución de las mediciones en grandes sistemas de puesta a tierra.	
	Objetivos específicos		
	Determinar la eficiencia de la aplicación del método convencional y el método alternativo de medición de resistencia en un sistema de puesta a tierra de grandes dimensiones que por sus condiciones geográficas la distancia disponible para realizar las mediciones es reducida o limitada.		
	Determinar la eficiencia de la aplicación del método convencional y el método alternativo de medición de resistencia en un sistema de puesta a tierra de grandes dimensiones en el que no se tiene restricciones para la ejecución.		

ANEXO 02: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Eficiencia del método de medición.	La eficiencia de un proceso o un método es la relación entre los resultados obtenidos y los recursos utilizados para su obtención. (ISO 9000, 2015).	La eficiencia del método de medición de resistencia de puesta a tierra se mide en función de la resistencia de tierra medida y los recursos utilizados para su obtención.	Resistencia de tierra	Valor de resistencia medida	De razón
				Confiability de la medición	
			Recursos utilizados	Cantidad de recursos utilizados	
				Costos de los recursos	
Tiempo empleado					

ANEXO 03: CERTIFICADOS DE VALIDEZ DEL INSTRUMENTO

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

Nombre del instrumento	FICHA DE REGISTRO DE MEDICIONES DE RESISTENCIA DE TERRA
Objetivo del instrumento	RECOLECTAR DATOS DE MEDICIONES A SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE GRANDES DIMENSIONES
Nombres y apellidos del experto	Daniel Gabriel Maraví Cámara
Documento de identidad	45456924
Años de experiencia en el área	12
Máximo Grado Académico	Magister en Project Management
Nacionalidad	Peruano
Institución	Hitachi Rail
Cargo	Power Supply & Traction Power Engenieer
Número telefónico	953902575
Firma	 DANIEL MARAVI CAMARA Ingeniero Mecánico Electricista CIP 141109
Fecha	25 /09 / 2021

Criterios	Detalle	Calificación
Suficiencia	El ítem pertenece a la dimensión y basta para obtener la medición de esta	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Claridad	El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Coherencia	El ítem tiene relación lógica con el indicador que está midiendo	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Relevancia	El ítem es esencial o importante, es decir, debe ser incluido	1: de acuerdo 0: en desacuerdo

Dimensión	Indicador	Ítem	Suficiencia	Claridad	Coherencia	Relevancia	Observación
Resistencia de tierra	Indicador 1	Valor de resistencia medida	1	1	1	1	Ninguna
	Indicador 2	Confiabilidad de la medición	1	1	1	1	Ninguna
Recursos utilizados	Indicador 1	Cantidad de recursos utilizados	1	1	1	1	Ninguna
	Indicador 2	Costos de los recursos	1	1	1	1	Ninguna
	Indicador 3	Tiempo empleado	1	1	1	1	Ninguna

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [] Aplicable después de corregir []

No aplicable []


Lima, 25 de Setiembre de 2021



DANIEL MARAVI CAMARA
 Ingeniero Mecánico Eléctricista
 CIP 141109

 Firma del Experto Informante

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

Nombre del instrumento	FICHA DE REGISTRO DE MEDICIONES DE RESISTENCIA DE TERRA
Objetivo del instrumento	RECOLECTAR DATOS DE MEDICIONES A SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE GRANDES DIMENSIONES
Nombres y apellidos del experto	Elmer Costa Escobedo
Documento de identidad	41905054
Años de experiencia en el área	14
Máximo Grado Académico	Ingeniero en Energía
Nacionalidad	Peruano
Institución	Kallpa Generación S.A.
Cargo	Supervisor de mantenimiento
Número telefónico	965765611
Firma	 ELMER DAVID COSTA ESCOBEDO ING. EN ENERGIA Reg. Colegio de Ingenieros N° 130445
Fecha	05 /11 /2021

Criterios	Detalle	Calificación
Suficiencia	El ítem pertenece a la dimensión y basta para obtener la medición de esta	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Claridad	El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Coherencia	El ítem tiene relación lógica con el indicador que está midiendo	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Relevancia	El ítem es esencial o importante, es decir, debe ser incluido	1: de acuerdo 0: en desacuerdo

Dimensión	Indicador	Ítem	Suficiencia	Claridad	Coherencia	Relevancia	Observación
Resistencia de tierra	Indicador 1	Valor de resistencia medida	1	1	1	1	Ninguna
	Indicador 2	Confiabilidad de la medición	1	1	1	1	Ninguna
Recursos utilizados	Indicador 1	Cantidad de recursos utilizados	1	1	1	1	Ninguna
	Indicador 2	Costos de los recursos	1	1	1	1	Ninguna
	Indicador 3	Tiempo empleado	1	1	1	1	Ninguna

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [] Aplicable después de corregir []

No aplicable []

Chimbote, 5 de Noviembre de 2021

ELMER DAVID COSTA ESCOBEDO
ING. EN ENERGÍA
Reg. Colegio de Ingenieros N° 139445

Firma del Experto Informante

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

Nombre del instrumento	FICHA DE REGISTRO DE MEDICIONES DE RESISTENCIA DE TERRA
Objetivo del instrumento	RECOLECTAR DATOS DE MEDICIONES A SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE GRANDES DIMENSIONES
Nombres y apellidos del experto	Jiancarlos Vívar Valdivia
Documento de identidad	47188336
Años de experiencia en el área	4
Máximo Grado Académico	Ingeniero Mecánico Eléctricista
Nacionalidad	Peruano
Institución	Ingenieros Electromecánicos S.A.
Cargo	Ingeniero de calidad en pruebas eléctricas
Número telefónico	930185463
Firma	 VIVAR VALDIVIA JIANCARLOS JOSE INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA CIP N° 236481
Fecha	05 /11 / 2021

Crterios	Detalle	Calificación
Suficiencia	El ítem pertenece a la dimensión y basta para obtener la medición de esta	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Claridad	El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Coherencia	El ítem tiene relación lógica con el indicador que está midiendo	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Relevancia	El ítem es esencial o importante, es decir, debe ser incluido	1: de acuerdo 0: en desacuerdo

Dimensión	Indicador	Ítem	Suficiencia	Claridad	Coherencia	Relevancia	Observación
Resistencia de tierra	Indicador 1	Valor de resistencia medida	1	1	1	1	Ninguna
	Indicador 2	Confiabilidad de la medición	1	1	1	1	Ninguna
Recursos utilizados	Indicador 1	Cantidad de recursos utilizados	1	1	1	1	Ninguna
	Indicador 2	Costos de los recursos	1	1	1	1	Ninguna
	Indicador 3	Tiempo empleado	1	1	1	1	Ninguna

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [] Aplicable después de corregir []

No aplicable []

Lima, 05 de noviembre de 2021



VIVAR VAQUÍVIA JIANCARLOS JOSE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
CIP N° 236481

Firma del Experto Informante

ANEXO 05: REGISTRO FOTOGRÁFICO



Foto 01. Medición de resistencia en SPAT1 utilizando telurómetro.



Foto 02. Medición realizada al 62% con C=150m por método convencional en SPAT1.



Foto 03. Medición realizada a 9m para C=90m por método alternativo en SPAT1.



Foto 04. Elaboración de pozos auxiliares para medición en SPAT2.



Foto 05. Resistencia medida en pozo auxiliar.



Foto 06. Cable de corriente a 575m del SPAT2 para método convencional.



Foto 07. Medición de resistencia por método convencional utilizando equipos con fuente de corriente en SPAT2.

Nombre	Tipo
Instruction	Comentario
25m	Secuenciador
50m	Secuenciador
75m	Secuenciador
100m	Secuenciador
125m	Secuenciador
150m	Secuenciador
175m	Secuenciador
200m	Secuenciador
225m	Secuenciador
250m	Secuenciador
275m	Secuenciador
299m	Secuenciador
325m	Secuenciador
357m	Secuenciador
375m	Secuenciador
414m	Secuenciador
425m	Secuenciador
450m	Secuenciador
475m	Secuenciador
500m	Secuenciador
525m	Secuenciador
550m	Secuenciador
Version	Comentario

CU1 10A <input type="checkbox"/> Parar con trigger				
A	Hz	Trigger	Umbral	
7.00 A	40.00 Hz	OFF	n/a	
7.00 A	40.00 Hz	OFF	n/a	
7.00 A	80.00 Hz	OFF	n/a	
7.00 A	80.00 Hz	OFF	n/a	

V1 AC		CT sel		R, X	
V	°	A	°	Ω	
795.8 mV	0.00 °	6.9320 A	-42.02 °	85.29 mΩ	
793.2 mV	0.00 °	6.9332 A	-42.01 °	85.00 mΩ	
1.1895 V	0.00 °	6.9480 A	-57.21 °	92.71 mΩ	
1.1896 V	0.00 °	6.9476 A	-57.23 °	92.67 mΩ	

Amplificador externo
CU1

Ajustes de la pinza y del transform. de entr.

Foto 08. Plantilla de pruebas utilizada en el método convencional del SPAT2.



Foto 09. Medición realizada a 45m para C=150m por método alternativo en SPAT2.



Foto 10. Medición realizada a 48m para C=120m por método alternativo en SPAT2.