IMATIC INGENIERÍA
NIT 800.195.522-1

331-JAR-2024

Santiago de Cali, noviembre 26 de 2024

Señor
Manuel Alejandro Hurtado G.
Supervisor contrato
Servicio Nacional Aprendizaje Sena - ASTIN
La ciudad

Referencia: Informe avance mantenimiento subestación Astin

Ing. Manuel A., se han desarrollado los siguientes mantenimientos de acuerdo al objeto contractual.

Alcance:

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD
1	Estudio de termografía inicial por una (1) hora, antes de intervención, con el propósito de establecer condiciones de funcionamiento anormal asociadas a puntos calientes en conexiones eléctricas, elementos en mal estado desbalance de cargas; esto aplica para todos los aparatos eléctricos asociados con la operación de la subestación en cuestión, desde el punto de entrada de la celda de media tensión (MT) hasta la salida de suministro en el tablero General de Baja Tensión (TGBT). Incluye el informe técnico correspondiente.	Global	1
2	Limpieza general de los cuatro (4) pozos y conexiones del sistema de puesta a tierra (SPT) de la subestación y medición de la respectiva resistencia de puesta a tierra del SPT de la subestación, con el propósito de emitir un diagnóstico sobre el estado del sistema de tierras; esto, conforme a los procedimientos y exigencias RETIE e IEEE 80 y IEEE 81. Incluye el informe técnico correspondiente.	Global	1
3	Medición de la resistividad del terreno en la zona verde entre los bloques de matricería y plásticos del ASTIN, con mínimo cuatro (4) lecturas en dos (2) direcciones diferentes, preferiblemente cruzadas a 90° geométricos, con el propósito de estimar la capacidad de conducción eléctrica del terreno para facilitar el rediseño del SPT de la subestación y los tableros de los bloques; esto, conforme a los procedimientos y exigencias RETIE e IEEE 80 y IEEE 81. Incluye el informe técnico correspondiente.	Global	1
4	Limpieza general del INTERIOR de la subestación con remoción de polvo en piso, paredes, celdas y tableros (tanto en el exterior como en el interior), verificación y ajuste de las conexiones del equipamiento eléctrico (MT-BT) de las celdas, tableros y barrajes. Limpieza de los vidrios de las ventanas laterales de la subestación. Suministro de TRES (3) fusibles de repuesto para la celda de protección de media tensión de la entrada de la subestación con las siguientes características: tipo HH, clase 20/24 kV, corriente nominal de 20 A ó 25 A, según disponibilidad comercial, longitud máxima del percutor: 35mm fuerza 80N, cuerpo en cerámica, elemento fusible (espiral) en plata rodeado de arena de cuarzo	Global	1

5	Limpieza general de los cinco (5) analizadores de redes instalados en el TGBT de la subestación, con ajuste y reconfiguración de parámetros así como la verificación funcional de cada uno ellos, contrastando la medida de tensión y corriente entregada en las tres (3) fases con respecto a un medidor de referencia (multímetro y/o pinza amperimetrica).	Global	1
6	Actualización y migración del software EXISTENTE de supervisión y monitoreo de energía Power Monitoring Expert PME de Schenider Electric a la Versión 2023. El servicio incluye: una (1) licencia base, cinco (5) licencias para dispositivos rango medio, tres (3) clientes WEB; ingeniería para la instalación y relicenciamiento del PME 2023 en servidor EXISTENTE; servicio digital Power Advisor Prime para la generación de 2 reportes de calidad de energía en servidor en la nube por parte del fabricante por un (1) año y un (1) año de actualizaciones gratuitas del mismo software; asistencia técnica para la adecuación de la conexión de comunicación de los cinco (5) analizadores de redes que actualmente se encuentran instalados en la Tablero General de Baja Tensión (TGBT) de la subestación del centro ASTIN; desarrollo de la interface HMI con representación del diagrama unifilar de la subestación y los medidores de energía o una representación similar, con acceso a los registros de los parámetros eléctricos, visualización de las tendencias por hora, días y semanas con la generación de los respectivos reportes; reinducción en el uso y configuración del PME 2023, consistente en una (1) jornada de cuatro (4) horas para máximo ocho (8) personas, en la instalaciones del centro ASTIN.	Global	1
7	Caracterización del contenido de PCB´s del aceite mineral dieléctrico del ACTUAL transformador de distribución de 300 kVA convencional instalado en la subestación. Incluye: análisis cuantitativo de PCB´s, proceso de identificación, georreferenciación, marcación de equipo, informes, toma de muestra de aceite. Nota: La toma de muestras y análisis cromatográfico para determinación de PCB´s se deberá realizar de acuerdo con lo establecido en la Resolución 0222 de 2011 del Ministerio de Ambiente de Colombia & Resolución 0792 de 2013 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, IDEAM. Así mismo, la caracterización de PCB´s del aceite de transformador deberá ser realizada en un (1) laboratorio con acreditación VIGENTE a la fecha para tal propósito expedida por el IDEAM y se DEBERÁ entregar el protocolo ó informe con los resultados del análisis efectuado por dicho laboratorio.	Global	1
8	Estudio de termografía FINAL por una (1) hora, posterior a la intervención e instalación del nuevo transformador, con el propósito de establecer condiciones de funcionamiento anormal asociadas a puntos calientes en conexiones eléctricas, elementos en mal estado o desbalance de cargas; esto aplica para todos los aparatos eléctricos asociados con la operación de la subestación en cuestión, desde el punto de entrada de la celda de media tensión (MT) hasta la salida de suministro en el tablero General de Baja Tensión (TGBT). En caso de que en esta etapa se llegasen a detectar puntos calientes en la subestación, estos deberán ser corregidos de inmediato y a la mayor brevedad de tiempo, a fin de garantizar el debido recibido a satisfacción. Incluye el informe técnico correspondiente.	Global	1

9	Estudio de parámetros eléctricos por siete (7) días calendario en el Tablero General de Baja Tensión (TGBT) de la subestación, posterior a la instalación del nuevo transformador de 300 kVA tipo seco en resina epóxica, con el fin de identificar el nivel de cargabilidad, el perfil de tensiones y corrientes así como los demás parámetros afines estipulados en la norma técnica NTC 5001, así como las condiciones de operación y los flujos de energía activa y reactiva de la carga. En caso de que en esta etapa se llegasen a detectar anomalías en el suministro eléctrico atribuibles de forma directa al nuevo transformador, estas deberán ser corregidas de inmediato y a la mayor brevedad de tiempo, a fin de garantizar el debido recibido a satisfacción. Incluye el informe técnico correspondiente.	Global	1

Se ha realizado las tareas de mantenimiento y verificación de los item´s 1 al 5 y el 9

Del item 7 y 8 esta programado para realizarse en esta siguiente semana teniendo en cuenta el alcance de los nuevos correctivos.

Para el item 6 se tiene las licencias de las actualizaciones para los equipos de medición de potencia, también se recibió la licencia del programa para realizar la implementación en el servidor, quedando por verificar la comunicación del servidor con los equipos de medida.

Item´s adicionales para el mantenimiento en la subestación.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD
1	Suministro e instalación de TRES (3) cables NUEVOS de cinco (5) metros de longitud cada uno, tipo monopolar con aislamiento XLPE y chaqueta en PVC, tensión de operación 15 kV@133%, temperatura de operación de 90 ºC, conductor en cobre calibre 2 AWG, pantalla en cinta de cobre, con terminales premoldeados tipo interior INSTALADOS y conectores BIMETÁLICOS en ambos extremos cada uno de ellos, para remplazar la acometida EXISTENTE de alimentación de media tensión que va de la salida de la celda del seccionador hasta la entrada del transformador de la subestación eléctrica. Previa a la instalación, se debe realizar la marcación de ambos extremos de cada cable con cinta de colores según el código de colores de media tensión; así mismo, a cada cable se le debe realizar la respectiva medición de resistencia de aislamiento según norma ANSI/NETA MTS ó similar, además de la verificación de la continuidad entre los extremos del conductor de cada cable así como la verificación de la continuidad entre los extremos de la pantalla de cada cable. La pantalla de cada cable se debe colocar a tierra única y exclusivamente del lado que sale de la celda del seccionador, en el barraje más cercano. Esta actividad debe incluir el respectivo informe técnico con los resultados de las pruebas y el registro fotográfico del proceso de instalación y puesta en servicio.	GLOBAL	1
2	Suministro de OCHO (8) galones de aceite mineral dieléctrico NUEVO, libre de PCB´s y en condiciones físico-químicas óptimas, para completar y recuperar el nivel de aceite del transformador existente de 300 kVA de la subestación eléctrica. La maniobra se debe realizar con el transformador completamente desenergizado y con las demás precauciones de seguridad correspondientes; para efectuar el proceso de llenado, se debe remover la válvula de sobrepresión ubicada en la parte superior derecha de lado de baja tensión del transformador y a través de la abertura de la misma y utilizando una manguera, proceder a inyectar el aceite hasta completar el nivel correspondiente según los rangos del indicador de mirilla del transformador; al finalizar, se debe reinstalar la válvula de sobrepresión y energizar de nuevo el transformador intervenido.	GLOBAL	1

3	Suministro e instalación de licencia para AGREGAR un dispositivo de rango medio a la base de datos del software EXISTENTE de supervisión y monitoreo de energía Power Monitoring Expert PME 2023 de Schenider Electric de la plataforma de gestión de energía del centro ASTIN.	UNIDAD	2
4	Medición de la resistividad del terreno en la zona verde aledaña a la SUBESTACIÓN ELÉCTRICA, con mínimo cuatro (4) lecturas en dos (2) direcciones diferentes, preferiblemente cruzadas a 90o geométricos, con el propósito de estimar la capacidad de conducción eléctrica del terreno para facilitar el rediseño del SPT de la subestación y los tableros de los bloques; esto, conforme a los procedimientos y exigencias RETIE e IEEE 80 y IEEE 81. Incluye el informe técnico correspondiente.	GLOBAL	1
5	Suministro e instalación de un dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) con las siguientes características: formato desenchufable de cartucho extraíble, para montaje en riel DIN, trifásico 3F+N+T, tensión de red (Un) 120/208 V, régimen de conexión a tierra TNS, para conexión única y exclusivamente en modo común, Tipo 2/Clase II para proteger contra sobretensiones transitorias inducidas (8/20 µs) según norma IEC/EN 61643-11, PSM4-40/230 TNS, tensión máxima de funcionamiento (Uc) 150 V referida a neutro, nivel de protección en tensión (Up) < 1 kV, corriente máxima de descarga (Imax @ 8/20) 40 kA, corriente nominal de descarga (In @ 8/20) 20 kA, producto certificado RETIE; se debe instalar y cablear en la entrada del Tablero General de Baja Tensión (TGBT) de la subestación eléctrica del ASTIN. Incluye el interruptor termomagnético tripolar de 3 x 40 A curva C IC60N A9F74340 montaje en riel DIN para la protección del DPS.	UNIDAD	1

Se tiene los materiales de los item´s 1, 2, 4 y 5 para la intervención en la subestación en la siguiente semana.

Anexo imágenes de los mantenimientos y mediciones realizadas, así como los informes respectivos.

1-

Ajustar o reparar soporte de tubería del cable de la lampara de iluminación del cuarto.



IMATIC INGENIERÍA
NIT 800.195.522-1

2-

Informacion de la bahia de conexión en poste exterior y cuadro de seccionador interior



IMATIC INGENIERÍA
NIT 800.195.522-1












IMATIC INGENIERÍA
NIT 800.195.522-1

3-

Subestacion y bahia de conexión en foso, asegurar area y puesta a tierra de la acometida en seccionador



















IMATIC INGENIERÍA
NIT 800.195.522-1
















IMATIC INGENIERÍA
NIT 800.195.522-1

4-

Celda transformador



5-

Celda baja tensión, tablero distribución y celda seccionador



IMATIC INGENIERÍA
NIT 800.195.522-1












IMATIC INGENIERÍA
NIT 800.195.522-1













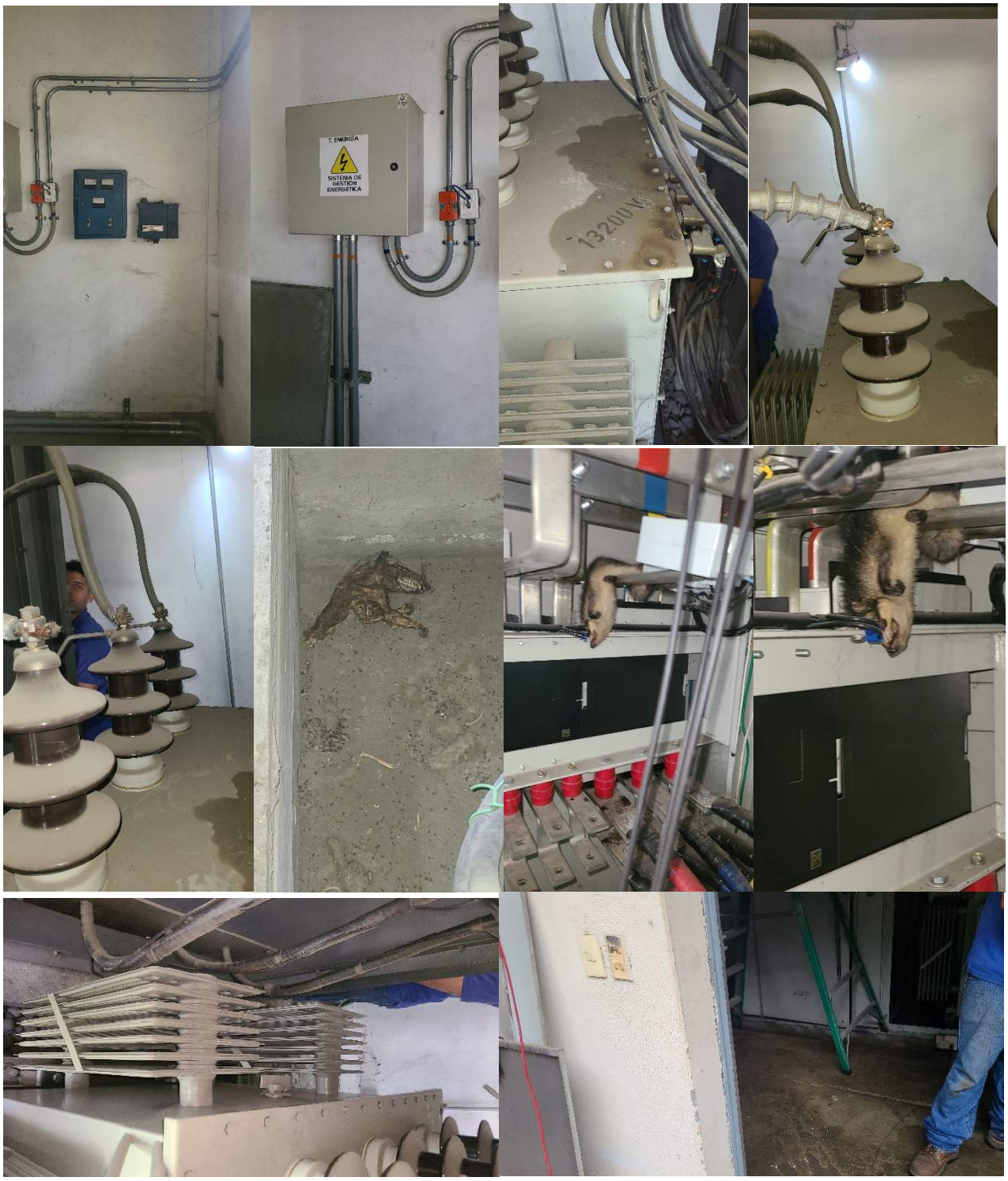








IMATIC INGENIERÍA
NIT 800.195.522-1

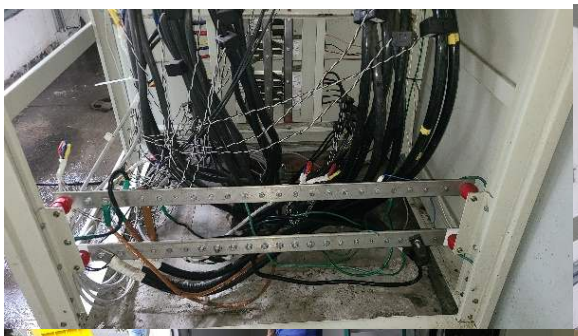


6-

Mantenimiento del cuarto de la subestación



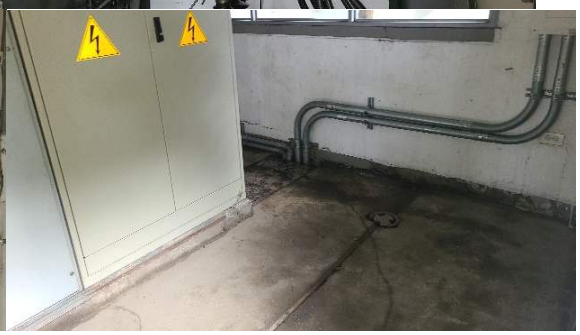
IMATIC INGENIERÍA
NIT 800.195.522-1







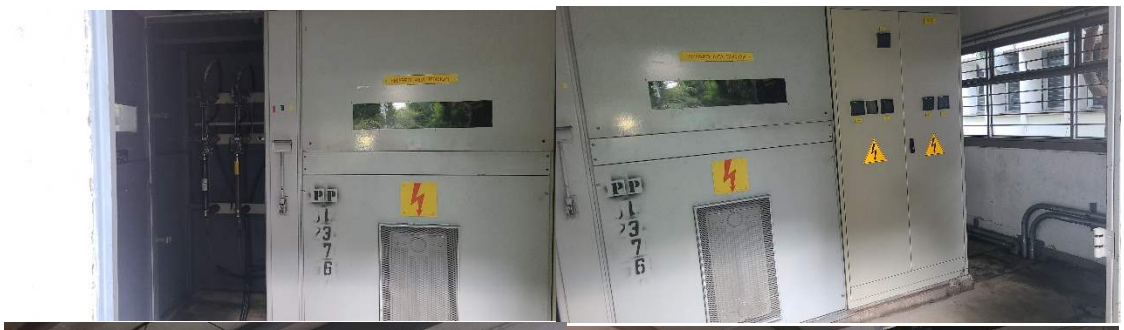


IMATIC INGENIERÍA
NIT 800.195.522-1



IMATIC INGENIERÍA
NIT 800.195.522-1





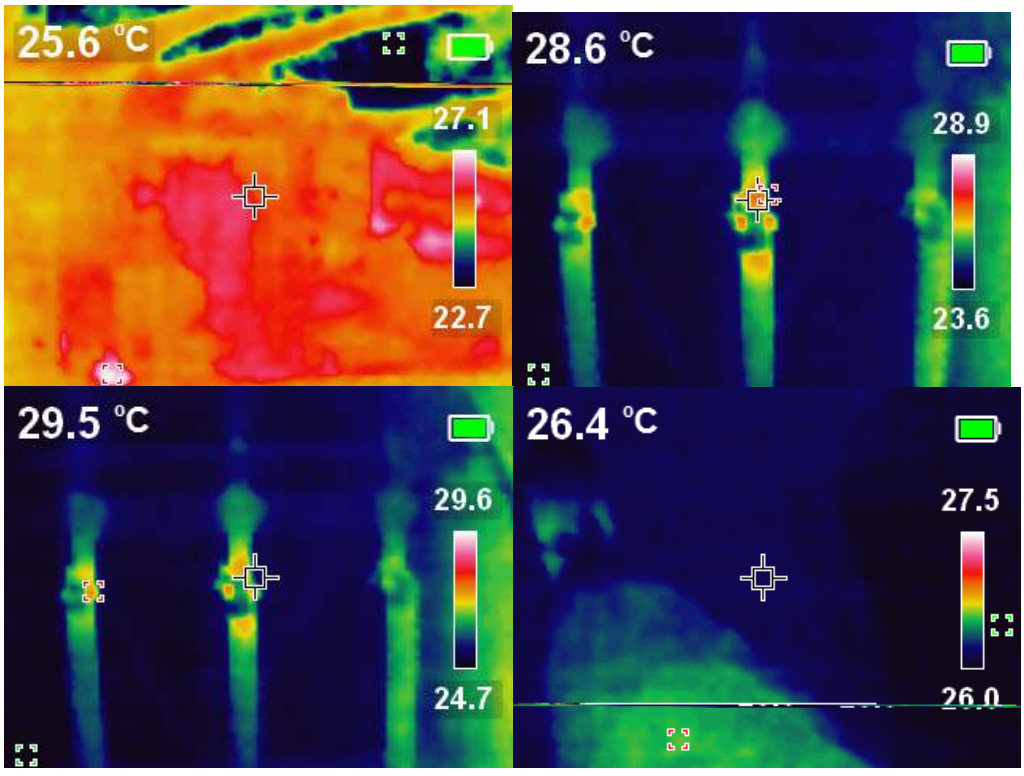




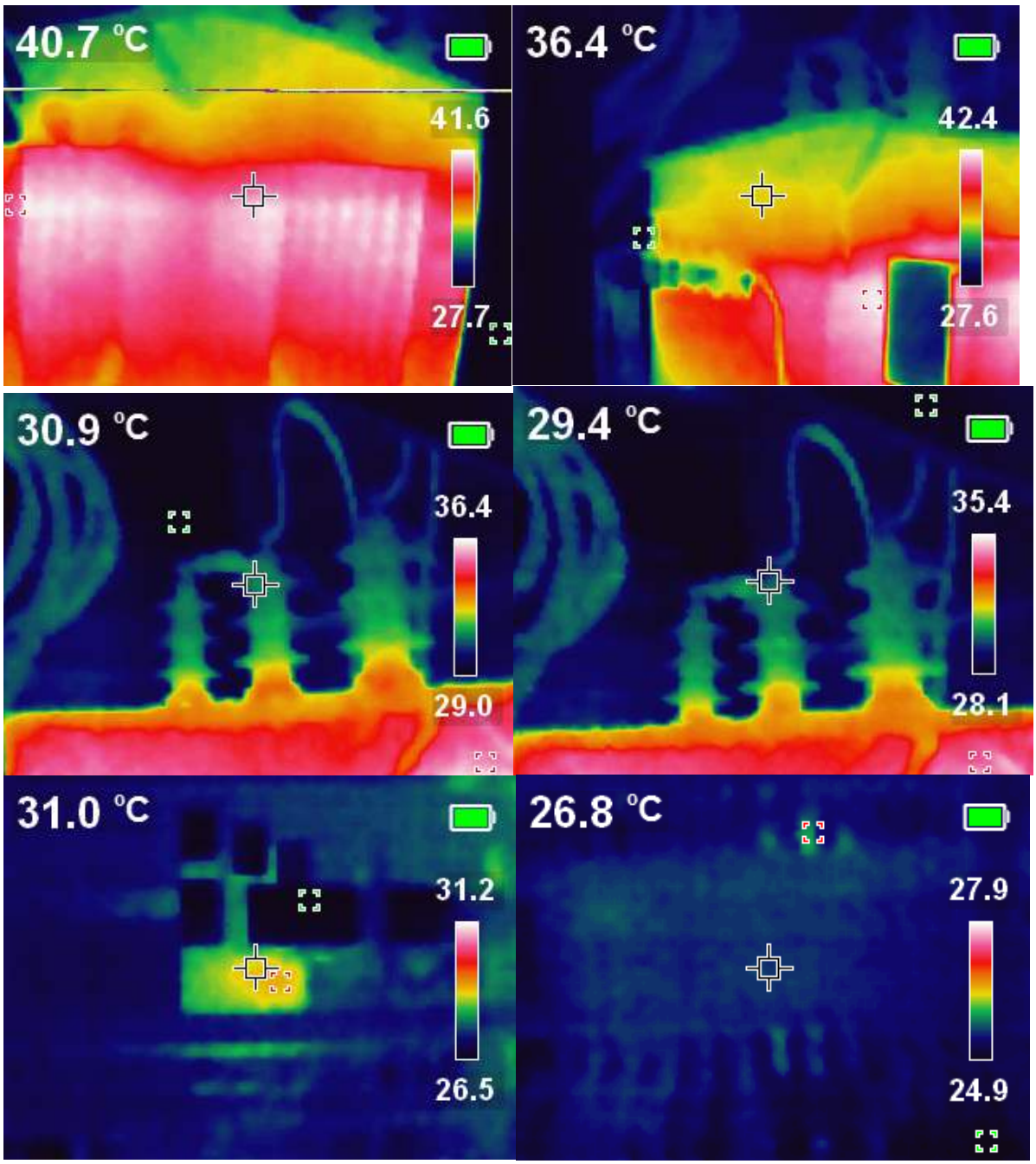
Se realizo mantenimiento y limpieza de los equipos, ajuste de conexiones en terminales de seccionador, transformador lado alta y lado, terminales de conductores en lado baja distribución con los circuitos asociados.

7-

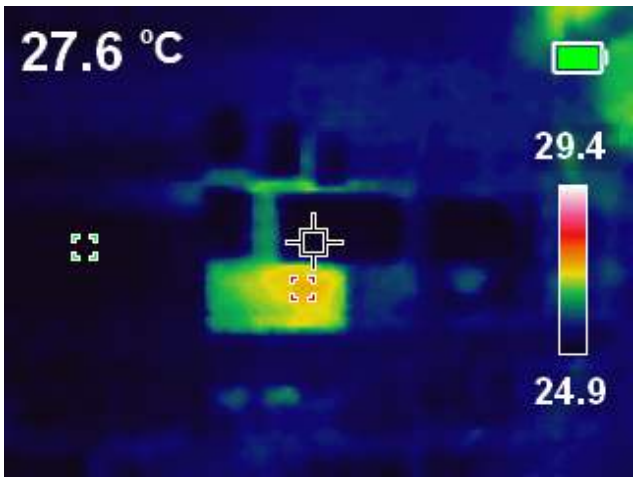
Termografía antes de realizar el mantenimiento



IMATIC INGENIERÍA
NIT 800.195.522-1



IMATIC INGENIERÍA
NIT 800.195.522-1



No se evidencia puntos calientes.

Para la siguiente fase del mantenimiento, esta por ejecutar:

1- Toma de muestra de aceite dieléctrico transformador
2- Cambio de 3 cables xlpe 15 kv #2 awg
3- Cambio de terminales premoldeados
4- Instalación DPS + interruptor de protección
5- Adición de aceite dieléctrico a transformador
6- Instalación software lectura de controladores de potencia con actualización (licencias)

Agradeciendo la atención.

Cordialmente,

Jesús Antonio Ruiz
Contratista

Copia: se anexa copia de los informes de medición calidad energía y puesta a tierra



INFORME TÉCNICO:

MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 300 kVA
CENTRO NACIONAL DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA INDUSTRIA – ASTIN
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE – SENA
CALLE 52 No. 2 BIS – 15 COMPLEJO SALOMIA, CALI – VALLE DEL CAUCA

ELABORADO POR:
Ing. Paul C. Gonzalez H.

CLIENTE:
IMATIC INGENIERIA SAS

NOVIEMBRE 2024

TABLA DE CONTENIDO

Página

1. *INTRODUCCIÓN*.....3
2. *PROCEDIMIENTO & METODOLOGÍA*.....6
3. *CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA*.....9
4. *RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES*.....12
5. *CONCLUSIONES*.....19
6. *BIBLIOGRAFÍA*.....20
7. *ANEXO 1 – Certificado de Calibración del Equipo de Medición*……...21

MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT)

1. INTRODUCCIÓN

Presentar un informe general con los resultados y el análisis derivado de la medición de la resistencia de puesta a tierra (R_{PT}) realizada en una instalación educativa, con el propósito de establecer la conformidad del valor de la medición con respecto a las exigencias normativas del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE [1] así como de diseño, en el caso de que aplique.

El informe abarca las generalidades acerca de del método y el procedimiento de medición del sistema de puesta tierra (SPT) así como la presentación y el análisis de los resultados de interés, las recomendaciones y las respectivas conclusiones a que haya lugar.

El servicio se plantea para atender la solicitud del cliente quien requiere hacer la verificación a un sistema de puesta a tierra en una instalación industrial, considerando el alcance general indicado en la Tabla 1

ÍTEM	*PRUEBAS ELÉCTRICAS*	*CANTIDAD*
1	*Medición de la resistencia de puesta a tierra SPT*	*1*

Tabla 1. *Alcance del servicio de medición.*

La ejecución de este trabajo de medición fue aprobada por el cliente y se realizó en la mañana del día Viernes 15 de Noviembre de 2024 en la malla del sistema de puesta a tierra de la subestación eléctrica (SE) de 300 kVA que se encuentra ubicada en la empresa: Centro Nacional de Asistencia Tecnica a la Industria – ASTIN, Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, Calle 52 No. 2 Bis – 15 Complejo Salomia, Cali – Valle del Cauca.

En la Figura 1 & Figura 2 se puede apreciar la ubicación las características generales del sitio donde se llevó a cabo el proceso de medición de la resistencia de puesta a tierra objeto del presente informe técnico.



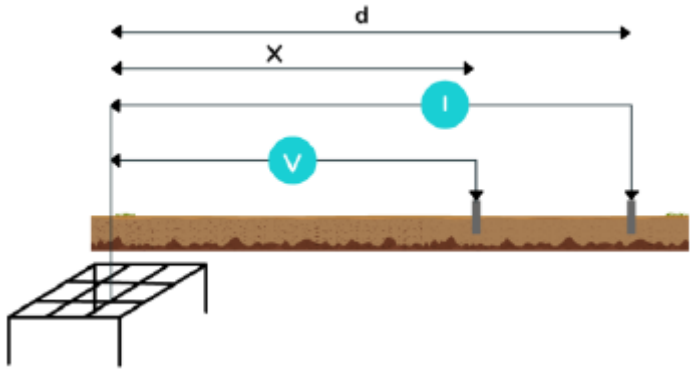
Figura 1. *Ubicación general del sitio de medición – SPT SE 300 kVA – Centro Nacional de Asistencia Tecnica a la Industria – ASTIN SENA Salomia.*



Figura 2. *Vista general de sitio de medición – SPT SE 300 kVA – Centro Nacional de Asistencia Tecnica a la Industria – ASTIN SENA Salomia.*

2. PROCEDIMIENTO & METODOLOGÍA

En primera instancia, cabe señalar que para la realización de la medición de la resistencia de puesta a tierra requerida en este tipo de servicio, existen diferentes métodos y procedimientos reconocidos y documentados en la literatura [3][4] y en varias de las normas técnicas aplicables en la materia [5]-[8], de entre los cuales el más ampliamente difundido y aceptado, es el denominado "*método de la caída de potencial"*, siendo este último el recomendado por Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE [1], en su Capítulo 3 – Articulo 3.12.4.2, para llevar a cabo este tipo de mediciones en SPT. En términos generales, la disposición y el montaje requerido por el "*método de la caída de potencial"* es el que se observa en la Figura 3.



En donde:

- ***d*** *es la distancia de ubicación del electrodo auxiliar de corriente, la cual debe ser entre 3 y 5 veces la mayor dimensión de la puesta a tierra o el diámetro equivalente del sistema que se desea medir [3].*
- ***x*** *es la distancia del electrodo auxiliar de tensión.*

La resistencia de puesta a tierra (R_{PT}) en ohmios, se calcula con V/I. El valor de resistencia de puesta a tierra que se debe tomar al aplicar este método es cuando la disposición del electrodo auxiliar de tensión se encuentra al 61.8 % de la distancia del electrodo auxiliar de corriente, siempre que el terreno sea uniforme.

Figura 3. *Esquema de medición para el método de la caída de potencial [1].*

El equipo utilizado para realizar esta medición se denomina *"telurómetro"* y es el encargado de inyectar y medir las señales de corriente y tensión para la relación V/I según la ley de ohm y de esta manera obtener el valor de la resistencia de puesta a tierra (R_{PT}) del sistema bajo ensayo, conforme a los lineamientos del *"método de la caída de potencial"* descrito previamente.

Para para la realización del presente estudio de medición se utilizó un (1) telurómetro digital marca METREL y referencia MI–2088, cuyas características generales se pueden apreciar en la Tabla 2.

EQUIPO	*CARACTERÍSTICAS*
	*Equipo digital de pruebas multifunción portátil METREL MI-2088 para instalaciones eléctricas, con capacidad para realización de mediciones de resistividad y resistencia de puesta a tierra por diferentes métodos, mediciones de continuidad (equipotencialidad) de los conductores de protección y mediciones de resistencia de aislamiento (hasta 1 kV DC) y más. Función para registro y almacenamiento de datos, puerto de comunicación y descarga de datos y fuente de energía a través de baterías. Equipo con certificado de calibración vigente, emitido por laboratorio de calibración acreditado bajo norma ISO/IEC 17025 por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).*

Tabla 2. *Detalles telurómetro digital utilizado para las mediciones [9].*

La metodología utilizada para la ejecución de las mediciones fue la siguiente:

- Inspección y verificación general del sistema de puesta a tierra (SPT) bajo estudio, a fin de establecer la configuración, componentes, conexiones, dimensiones y estado del mismo previo a la medición.

- Limpieza general de los cinco (5) pozos y conexiones del sistema de puesta a tierra (SPT) de la subestación, que incluye: retiro de maleza o vegetación del pozo, retiro del polvo, verificación del ajuste de la conexión entre electrodos, verificación del estado de los electrodos, limpieza con grata para remover oxido de todas las conexiones.

- Limpieza general del punto o los puntos del sistema de puesta a tierra en donde se realizará la conexión sólida requerida para la medición.

- Instalación de las estacas y cableado del telurómetro conforme a los lineamientos del *“método de la caída de potencial”*, utilizando las distancias apropiadas y los cuatro (4)

hilos requeridos para enlazar correctamente la señales de corriente (lazo externo) y tensión (lazo interno).

- Operación el telurómetro para registrar la primera lectura de resistencia de puesta (R_{PT}) a tierra considerando una distancia *"**x**"* equivalente al 61.8% de la distancia *"**d**"*.

- El procedimiento anterior se repite desplazando sucesivamente la estaca de voltaje, primero acercándola hacia el sistema bajo prueba y luego alejándola hacia la estaca de corriente, típicamente con un rango de distancia de ±10% del punto inicial *"**x**" [3]* y según la disponibilidad de espacio. Si estas tres lecturas no difieren significativamente una con respecto a otra, puede aceptarse que la lectura a la distancia *"**x**"* equivalente al 61.8% de la distancia *"**d**"*, representa el valor real de la resistencia de puesta a tierra (R_{PT}) del sistema bajo análisis.

- Terminación de ciclo de lectura así como desconexión del telurómetro, las estacas y el cableado correspondiente a los lazos de los circuitos de medición de corriente y tensión.

- Elaboración del respectivo informe técnico correspondiente al sistema objeto de análisis, teniendo en cuenta el objetivo planteado, el alcance del servicio y la información registrada durante el proceso medición.

3. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

La configuración y distribución general del sistema de puesta a tierra (SPT) principal bajo estudio se aprecia en la Figura 4.

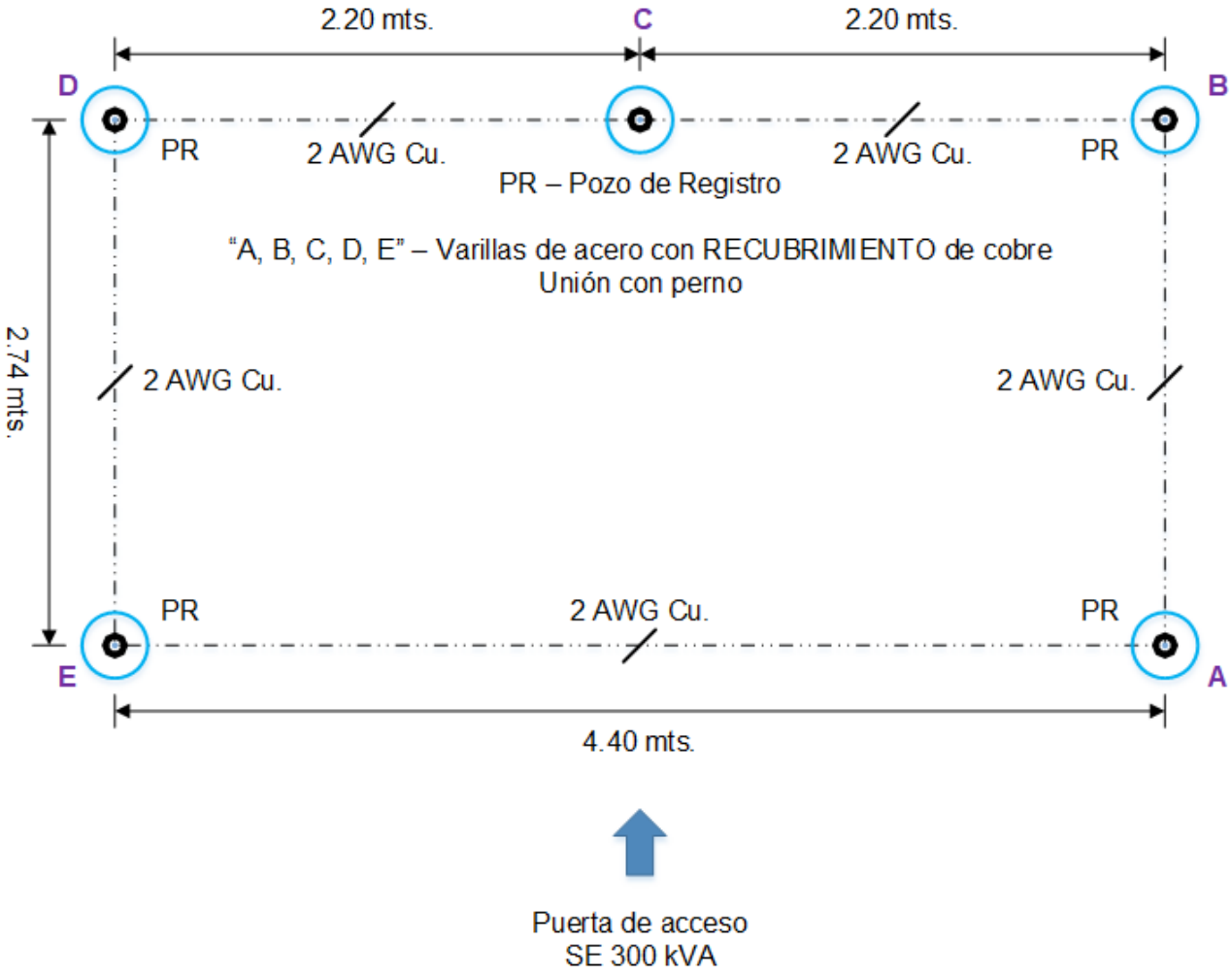


Figura 4. *Configuración del sistema de puesta a tierra bajo estudio – SE 300 kVA – Centro Nacional de Asistencia Tecnica a la Industria – ASTIN SENA Salomia.*

Como se puede apreciar claramente, se trata de un sistema de puesta a tierra SPT de forma rectangular, cuyas dimensiones son de 4.40 x 2.74 metros aproximadamente, el cual está conformado por CINCO (5) electrodos (A, B, C, D & E) tipo varilla de acero con RECUBRIMIENTO de cobre, con CINCO (5) pozos de registro redondos, con enlaces en cable de cobre desnudo calibre 2 AWG aproximadamente y uniones con perno; dicho SPT se encuentra instalado al interior de la subestación eléctrica de 300 kVA del centro ASTIN del SENA Salomia.

En la Figura 5 se presentan algunos de los detalles constructivos y de instalación del sistema de puesta a tierra (SPT) bajo análisis.



Figura 5. *Algunos de los detalles constructivos del SPT bajo estudio – SE 300 kVA – Centro Nacional de Asistencia Tecnica a la Industria – ASTIN SENA Salomia.*

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES

En la Tabla 3 se presentan los resultados de la medición de la resistencia de puesta a tierra (R_{PT}) obtenidos para el SPT de esta instalación, de acuerdo con el método descrito previamente.

INFORMACIÓN GENERAL			
Fecha:	*15 de Noviembre de 2024*	*Estado del Terreno:*	*Seco*
Sitio:	*SE 300 kVA Centro Nacional de Asistencia Tecnica a la Industria – ASTIN SENA Salomia (N 3°28'07.4", W 76°29'57.9")*	*Observaciones del Terreno:*	*Suelo campestre en zona urbana*
		Cond. Ambientales:	*Día nublado 27°C / 60% H.R aprox.*
Dirección:	*Calle 52 No. 2 Bis – 15*	*Método de Medición:*	*Caída de Potencial / Cuatro (4) Puntas*
Ciudad:	*Cali – Valle del Cauca*	*Equipo de Medición:*	*Metrel MI–2088*

REGISTRO DE LAS MEDICIONES		
Perfil No. 1 (Dirección O – E Aprox.)		
*Distancia (**d**) del electrodo de corriente al SPT*	*Distancia (**x**) del electrodo de potencial al SPT*	*Resistencia de Puesta a Tierra (RPT) medida*
45 metros	*x_1=28 metros (62%)*	*0.17 Ω*
	x_2=29 metros (↑)	*0.18 Ω*
	x_3=27 metros (↓)	*0.16 Ω*
		
x_1=28 metros (62%)	*x_2=29 metros (↑)*	*x_3=27 metros (↓)*
	Resistencia de Puesta a Tierra del SPT (62%)	***0.17 Ω***
Observaciones:		
Realizado por:	*Ing. Paul C. Gonzalez H.*	

Tabla 3. *Formato con los registros de las mediciones de resistencia de puesta a tierra para el SPT de la SE 300 kVA del Centro ASTIN SENA Salomia.*

En la Tabla 4 & la Figura 6 se presenta el registro fotográfico con algunas de las actividades desarrolladas durante proceso de medición del SPT de esta sede.

Tabla 4. *Registro fotográfico con los resultados del mantenimiento de los CINCO (5) pozos y conexiones del SPT de la SE 300 kVA del Centro ASTIN SENA Salomia.*

ANTES DE	*DESPUÉS DE*
	
	

ANTES DE	*DESPUÉS DE*
	
	
	



Figura 6. *Registro fotográfico con algunas de las actividades desarrolladas durante la medición del del SPT de la SE 300 kVA del Centro ASTIN SENA Salomia.*

De igual manera, en la Figura 7 aparece marcado el punto en donde se realizó esta medición así como la respectiva dirección en la cual se efectuó dicha medición.



Figura 7. *Ubicación y dirección de la medición de resistencia de puesta a tierra – SE 300 kVA – Centro Nacional de Asistencia Tecnica a la Industria – ASTIN SENA Salomia.*

De acuerdo con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE [1] en su Capítulo 3 – "Artículo 3.12.3. Valores de referencia de resistencia de puesta a tierra: *…pueden tomarse como referencia los valores máximos de la Tabla 3.12.3.a, adoptados de las normas técnicas ANSI/IEEE 80, NTC 2050 Segunda Actualización y NTC 4552-1. El cumplimiento de estos valores no exonera al diseñador y constructor de garantizar que las tensiones de paso, contacto y transferidas aplicadas al ser humano en caso de una falla a tierra, no superen las establecidas en el presente reglamento…"* (Ver Tabla 5).

APLICACIÓN	***VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA***
Estructuras y torrecillas metálicas de líneas o redes con cable de guarda	*20 Ω*
Subestaciones de alta y extra alta tensión	*1 Ω*
Subestaciones de media tensión	*10 Ω*
Protección contra rayos	*10 Ω*
Punto neutro de acometida en baja tensión	*25 Ω*
Redes para equipos electrónicos o sensibles	*10 Ω*

Tabla 5. *Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra, según Tabla 3.12.3. a. del RETIE [1].*

Teniendo en cuenta el tipo de instalación, se puede deducir de forma general que el sistema de puesta a tierra SPT bajo estudio está orientado a "*Subestaciones de media tensión"*, por lo tanto el valor límite de resistencia de puesta a tierra es de 10 Ω según el tipo de aplicación indicada en el RETIE [1]. En ese orden de ideas y con base en los resultados de las mediciones efectuadas en el sitio de la instalación, el valor de resistencia de puesta a tierra obtenida CUMPLE con creces el requerimiento estipulado y recomendado por la norma, ya que el valor de Resistencia de Puesta a Tierra del SPT bajo estudio fue de 0.17 Ω. En principio, el buen resultado obtenido se debe principalmente a la condición del terreno que rodea la instalación, la cual es muy favorable y facilita un drenaje óptimo de las corrientes de falla a tierra.

Para el caso de los enlaces de interconexión, se realizó una verificación entre algunos puntos de los sistemas bajo estudio y tal verificación arrojó resultados de resistencia de conexión inferiores a 0.1 Ω (Ver Figura 8), cumpliendo así con las recomendaciones para el valor de resistencia de ese tipo de enlace equipotencial [3].



Figura 8. *Registro fotográfico de la verificación de los enlaces de interconexión del SPT de la SE 300 kVA del Centro ASTIN SENA Salomia.*

5. CONCLUSIONES

- El sistema de puesta a tierra de esta instalación CUMPLE a cabalidad con el valor exigido por el “Artículo 3.12.3. Valores de referencia de resistencia de puesta a tierra” del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE [1].

- A pesar de que el valor de resistencia de puesta a tierra medida se encuentra dentro de los márgenes permitidos, *se recomienda diseñar e instalar una nueva malla para la subestación ya que los componentes del actual SPT han cumplido su ciclo de vida útil y por ejemplo, las varillas han perdido su recubrimiento de cobre además de que los uniones con pernos tampoco están en la mejor condición, lo cual puede comprometer la seguridad de las personas, la protección de las instalaciones y la compatibilidad electromagnética.*

- De igual manera, se deben programar mediciones de resistencia de puesta a tierra periódicas al SPT para verificar el cumplimiento de los requisitos de norma y garantizar la protección de las personas y equipos, principalmente durante los periodos de verano a fin de considerar el caso más crítico del terreno en donde se encuentra instalado el SPT.

Elaborado por:

Ing. Paul C. González H.
Cel. 3113852129
paul.acdc@gmail.com

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE. Resolución No. 40117, del 02 de abril de 2024. Ministerio de Minas y Energía de Colombia. 2024.

[2] Código Eléctrico Colombiano – NTC 2050. Segunda Actualización. ICONTEC 2020.

[3] TIERRAS – Soporte de la seguridad eléctrica. Fabio Casas Ospina. Editorial Icontec Internacional. Quinta Edición 2010.

[4] Fundamentos e Ingeniería de las Puesta a Tierra. Respuesta ante fallas eléctricas y rayos. German Moreno Ospina et al. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia. 2007.

[5] IEEE Std 81-2012 (Revision of IEEE Std 81-1983). IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System. The Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE. 2012.

[6] NC-RA6-014. Mediciones para el sistema de puesta a tierra. Norma Técnica. Centros de Excelencia Técnica Unidad CET Normalización y Laboratorios. Empresas Públicas de Medellín EPM – ESP. Colombia. 2024.

[7] ASTM D3633/D3633M−23. Standard Test Method for Electrical Resistivity of Membrane-Pavement Systems. American Society for Testing and Materials ASTM. 2023.

[8] LA 400. Puestas a Tierra. Norma Técnica. CODENSA S.A. E.S.P. Colombia. 2017.

[9] Earth – Insulation Tester MI 2088 User Manual. Version 1.0, Code no. 20 750 325. Metrel d.d. 2003.

[10] Resolución No. 5018, del 20 de Noviembre de 2019, por la cual se establecen lineamientos en Seguridad y Salud en el trabajo en los Procesos de Generación, Transmisión, Distribución y Comercialización de la Energía Eléctrica. Ministerio del Trabajo de Colombia. 2019.

ERASMUS ONAC ACREDITADO

ISO/IEC 17025: 2017
18-LAC-017

CERTIFICADO DE CALIBRACION
No. 6165

Fecha de emisión: 2024-08-14.

Cliente: ***ELECTRICIDAD Y TRANSFORMADORES S.A.S.***
Carrera 13 No 1 – 04 Oeste Piso 3, Cali, Teléfono: 315 366 30 72.
NIT: 901.194.209.

Instrumento calibrado: Telurómetro.

Fabricante: METREL.

Modelo: MI 2088.

Número de Serie: 20140424.

Fecha de Calibración: Agosto 14 del 2024.

Lugar de calibración: Laboratorio de Erasmus Carrera 17 No 39 – 58, Bogotá - Colombia.

1. METODO DE CALIBRACIÓN.

El método de calibración empleado es de comparación de las mediciones del instrumento a calibrar con el patrón, de acuerdo con los procedimientos:

- *LC-MT-007 método para la calibración de telurómetros Versión 3 del 2019-01-28.*
- *EURAMET. cg – 15. "Guidelines on the calibration of digital multimeters". Version 3.0 (02/2015).*

2. EQUIPOS UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN.

EQUIPO	NÚMERO DE SERIE	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	FECHA DE CALIBRACIÓN	EMITE
Calibrador Fluke 5502A	5440806	EVL951759	2024-03-01	Fluke.
Termohigrómetro Testo 175-H1	40326218	CLH 5824 CLT 14324	2024-01-25 2024-01-26	Conamet.
Década de resistencia CS-3000	19510092	E-24-0038	2024-01-10	Metrel d.o.o.

Tabla 1. Equipos utilizados en la calibración.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN PREVIA AUTORIZACIÓN.

ERASMUS S.A.S.
Dirección: Carrera 17 No. 39-58, Bogotá, Laboratorio de calibración.
Teléfono: (57) (1) 4864030 Ext. 1112
Correo electrónico: laboratorio@erasmus.com.co – ***Pagina Web:*** www.erasmus.com.co

3. TRAZABILIDAD METROLÓGICA.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de medida de acuerdo al sistema internacional de unidades SI.

4. RESULTADOS DE LA MEDICIÓN.

La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura k y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor.

Medición de Resistencia de Tierra - 4						
Rango	Unidad	Valor de referencia	Valor leído	Error de la lectura	Incertidumbre expandida	k
Ω	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0,00 A 19,99	Ω	0,50	0,52	0,020	0,011	1,96
	Ω	1,00	1,01	0,010	0,010	1,96
	Ω	19,04	19,03	-0,010	0,013	1,97
Ω	-----	-----	-----	-----	-----	-----
20,0 A 199,9	Ω	99,8	99,4	-0,40	0,24	1,97
	Ω	190,3	189,9	-0,40	0,16	1,97
Ω	-----	-----	-----	-----	-----	-----
200 A 999	Ω	1003	998	-5,0	2,5	1,97
kΩ	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1,000 A 1,999	kΩ	1,902	1,892	-0,0100	0,0012	1,96
kΩ	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2,00 A 19,99	kΩ	10,01	10,14	0,130	0,020	1,96
	kΩ	19,01	19,23	0,220	0,014	1,96

Tabla 2. Calibración de la función de medición de resistencia de tierra a 4 hilos.

Medición de tensión eléctrica C.C.						
Rango	Unidad	Valor de referencia	Valor leído	Error de la lectura	Incertidumbre expandida	k
V	----	-----	----	-----	-----	-----
0 A 600	V	0	0	0,00	0,57	1,97
	V	60	60	0,00	0,57	1,97
	V	300	301	1,00	0,57	1,97
	V	540	542	2,00	0,57	1,97

Tabla 3. Calibración de la función de medición de tensión eléctrica C.C.

Medición de tensión eléctrica C.A.							
Rango	Unidad	Frecuencia	Valor de referencia	Valor leído	Error de la lectura	Incertidumbre expandida	k
V	----	kHz	-----	----	-----	-----	-----
0 A 600	V	0,045	60	60	0,00	0,59	1,97
	V	0,045	300	301	1,00	0,59	1,97
	V	0,045	540	542	2,0	1,3	1,99

Tabla 4. Calibración de la función de medición de tensión eléctrica C.A.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN PREVIA AUTORIZACIÓN.

CERTIFICADO DE CALIBRACION
No. 6165

Fecha de emisión: 2024-08-14.

5. OBSERVACIONES.

- La calibración se realiza con conexión a una fuente de tensión eléctrica C.C. externa.
- La calibración de la función de resistencia de tierra se realizó a una frecuencia de: 125 Hz.

6. INFORMACIÓN ADICIONAL DE LA CALIBRACIÓN.

Encargado(s) de la calibración:	Laura Milena Velandia R. (Sesión 1) – Cristian F. Sandoval Ramirez (Sesión 2).			
Supervisor:	Rafael Zamudio Ayala.			
Personal adicional:	Ninguno.			
Código de muestra:	10087.			
Fecha de recepción	2024-08-09.			
Sesión 1.				
Condiciones ambientales	***Temperatura (°C)***	21,7 ± 0,2	***Humedad relativa (%)***	51,9 ± 1,5
Intervalo de tiempo de la prueba	***Hora Inicial***	8:55	***Hora Final***	9:01
Sesión 2.				
Condiciones ambientales	***Temperatura (°C)***	22,8 ± 0,2	***Humedad relativa (%)***	52,3 ± 1,5
Intervalo de tiempo de la prueba	***Hora Inicial***	10:59	***Hora Final***	11:03

Tabla 5. Información adicional de la calibración.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN PREVIA AUTORIZACIÓN.

ERASMUS S.A.S.
Dirección: Carrera 17 No. 39-58, Bogotá, Laboratorio de calibración.
Teléfono: (57) (1) 4864030 Ext. 1112
Correo electrónico: laboratorio@erasmus.com.co – ***Pagina Web:*** www.erasmus.com.co

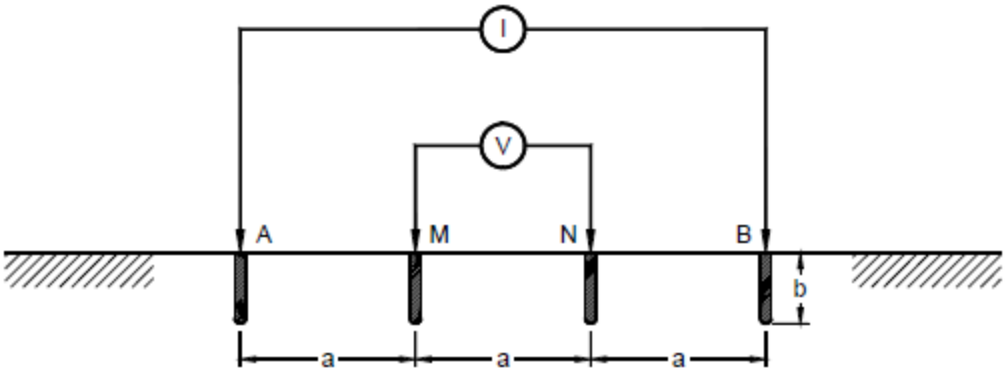
7. RESPONSABLES.

Elaboro	Aprobado
Alexander Duarte Viloria.	Elena P. Prieto Rodríguez.
Metrólogo del laboratorio.	Coordinador del laboratorio.

- Los resultados de calibración, medidas y declaración de conformidad solo se refieren al instrumento bajo prueba.
- Este certificado de calibración expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y no podrán ser adulteradas ni manipuladas por personas ajenas a **ERASMUS S.A.S**.
- Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren en el momento y condiciones en el que se realizaron las mediciones.
- **ERASMUS S.A.S.** no se responsabiliza por la mala manipulación de los instrumentos calibrados o por los resultados que se obtengan por alguna persona o entidad a partir del uso del contenido de este certificado de calibración.
- **ERASMUS S.A.S.** no realiza ningún tipo de muestreo en las calibraciones realizadas.
- **ERASMUS S.A.S.** no se responsabiliza por la información y/o datos entregados por el cliente. (Esta información estará identificada en letra Cambria 11 en forma cursiva).
- **ERASMUS S.A.S.** no autoriza en ninguna circunstancia el uso del símbolo de acreditado de ONAC a sus clientes.

Final del certificado.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN PREVIA AUTORIZACIÓN.



INFORME TÉCNICO:

MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO
ZONA VERDE – BLOQUES DE MATRICERIA Y PLÁSTICOS
CENTRO NACIONAL DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA INDUSTRIA – ASTIN
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE – SENA
CALLE 52 No. 2 BIS – 15 COMPLEJO SALOMIA, CALI – VALLE DEL CAUCA

ELABORADO POR:
Ing. Paul C. Gonzalez H.

CLIENTE:
IMATIC INGENIERIA SAS

NOVIEMBRE 2024

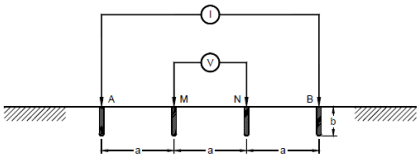


TABLA DE CONTENIDO

Página

1. INTRODUCCIÓN 3
2. GENERALIDADES 6
2.1 Introducción [3] 6
2.2 Métodos para la Medición [5] 7
2.2.1 Método de Wenner 8
2.3 Modelamiento del Suelo [5][12] 10
2.3.1 Modelo de suelo homogéneo 11
2.3.2 Modelo de suelo de dos capas horizontales 11
3. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN 12
4. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES 15
5. BIBLIOGRAFÍA 23
6. ANEXO 1 – Certificado de Calibración del Equipo de Medición 26

MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

1. INTRODUCCIÓN

Presentar un informe general con los resultados y el análisis derivado de la ejecución de una (1) medición de resistividad del terreno efectuada en una de las áreas de una instalación EDUCATIVA, con el propósito de estimar la capacidad de conducción eléctrica del terreno, aspecto importante que será requerido posteriormente para efectuar un adecuado diseño y dimensionamiento del sistema de puesta a tierra (SPT) de una de la derivaciones de dicha instalación eléctrica y/o el diseño del sistema de apantallamiento contra descargas atmosféricas, en cumplimiento de los requerimientos y exigencias técnicas normativas estipuladas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE [1], entre otras.

El informe abarca las generalidades acerca del concepto de la resistividad del terreno, con el propósito de comprender algunos aspectos de su naturaleza y comportamiento así como del método y el procedimiento de medición, la presentación y el análisis de los resultados de interés, las recomendaciones y las respectivas conclusiones a que haya lugar. El servicio se plantea para atender la solicitud del cliente quien requiere efectuar una medición de resistividad del terreno en una de las áreas de una instalación EDUCATIVA, considerando el alcance general indicado en la Tabla 1.

ÍTEM	*DESCRIPCIÓN*	*CANTIDAD*
1	*Medición de la resistividad del terreno (medición cruzada)*	*1*

Tabla 1. *Alcance del servicio tecnológico.*

La ejecución de este trabajo de medición fue aprobada por el cliente y se realizó en la mañana del día Sábado 16 de Noviembre de 2024 en la zona verde que separa los bloques de Matriceria y Plásticos del Centro Nacional de Asistencia Tecnica a la Industria – ASTIN, Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, Calle 52 No. 2 Bis – 15 Complejo Salomia, Cali – Valle del Cauca.

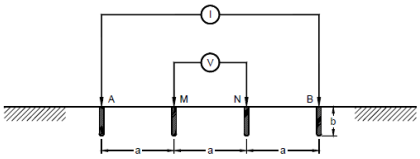
En la Figura 1 & Figura 2 se puede apreciar la ubicación y los detalles y características generales del sitio donde se llevó a cabo el proceso de medición de la resistividad del terreno objeto del presente informe.



Figura 1. *Ubicación general del sitio de medición – Zona Verde Matriceria & Plásticos – Centro Nacional de Asistencia Tecnica a la Industria – ASTIN SENA Salomia.*



Figura 2. *Vista general de sitio de medición – Zona Verde Matriceria & Plásticos – Centro Nacional de Asistencia Tecnica a la Industria – ASTIN SENA Salomia.*



2. GENERALIDADES

2.1 Introducción [3]

Uno de los factores decisivos para el dimensionamiento y comportamiento de un sistema de puesta a tierra es la condición del terreno a través del cual va a circular la corriente; ello involucra entonces no sólo al volumen de terreno sobre el cual esté emplazado el sistema de puesta a tierra, sino también el de sus alrededores. En realidad, el terreno debe ser considerado como un sistema geológico y geoeléctrico.

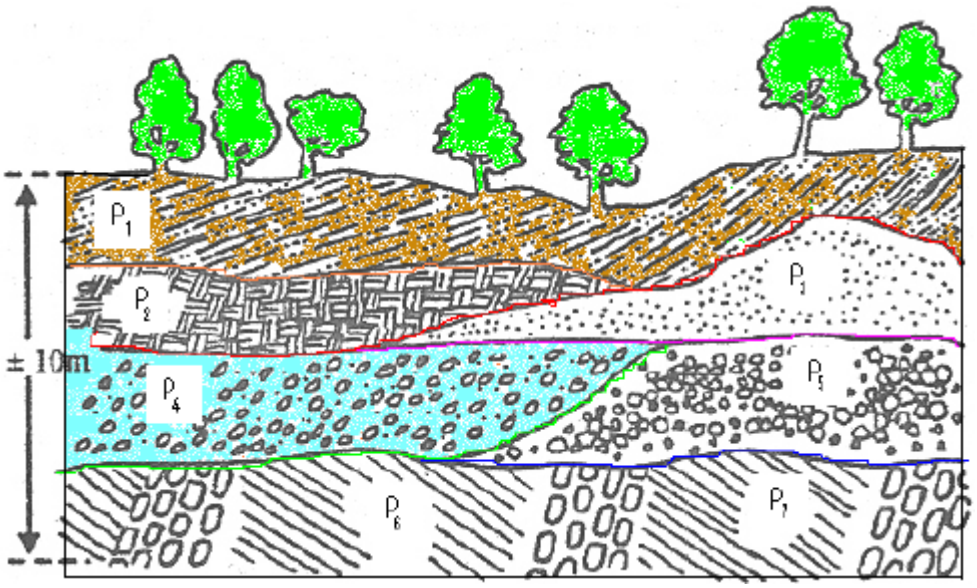


Figura 3. *Sistema Geológico compuesto por varias capas o estratos.*

Donde “ρ1”, “ρ2”, “ρ3”, “ρ4”, “ρ5”, “ρ6”, “ρ7” corresponde a las resistividades de cada capa o estrato del terreno.

El cálculo de la resistencia de un sistema de puesta a tierra conformado por un electrodo sencillo o múltiple, se hace con base al valor de la resistividad del terreno en el cual este está inmerso, la cual varía en un amplio rango, según sus condiciones geológicas y geofísicas, ver la Figura 3; por conveniencia los análisis más comunes suponen terrenos homogéneos, es decir, que el terreno posee la misma naturaleza geológica y geofísica en el volumen de tierra ilimitado por todos los lados en el que está emplazado el sistema de puesta a tierra y por el cual las líneas de corriente se propagan; sin embargo, la realidad es otra, la mayoría de los casos el terreno es de naturaleza heterogénea y su respuesta varía de acuerdo a sus componentes, a la condición geológica y en mayor o menor grado

de importancia a la frecuencia de la corriente que lo atraviesa, esto deriva en un comportamiento del sistema de tierra distinto, de manera parcial o total, al que se esperaba según el cálculo hecho para un terreno homogéneo, ya que el valor de la conductividad o de la resistividad del suelo, ya no corresponde a esa clase de terreno.

En la práctica se puede identificar alrededor de once clases de heterogeneidades que se presentan en determinados terrenos; algunas de ellas originan sólo pequeñas modificaciones de comportamiento con respecto al cálculo homogéneo, las cuales bien pueden ser ignoradas, por el contrario algunas de ellas si dan lugar a variaciones importantes que ya no deben ser despreciadas (el subsuelo mucho mejor conductor que el suelo o viceversa), por lo que, en rigor, tienen que ser consideradas durante la fase del cálculo del sistema de electrodos; en la Figura 4 se presentan dos de tales heterogeneidades.

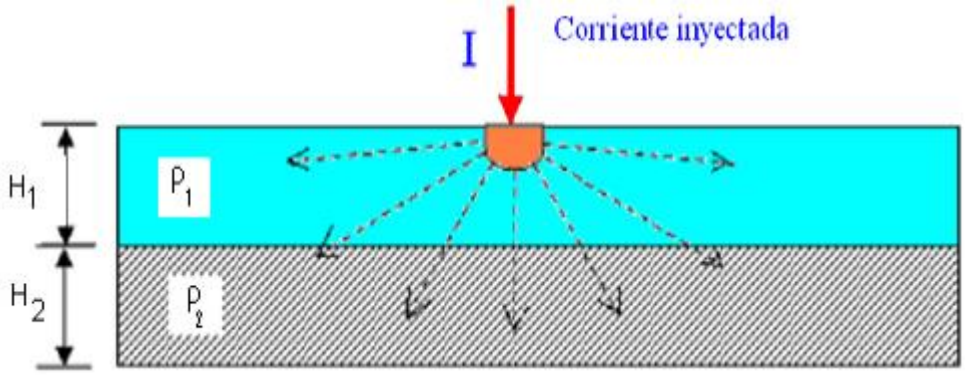


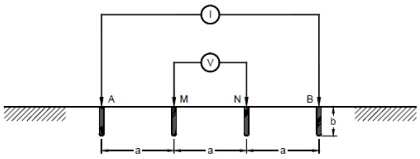
Figura 4. *Ejemplo de un terreno con dos heterogeneidades.*

Donde “ρ1”, “ρ2” es la resistividad de cada capa o estrato y “H1”, “H2” es la profundidad correspondiente de cada estrato.

2.2 Métodos para la Medición [5]

Estimaciones basadas en la clasificación del suelo conducen sólo a valores gruesamente aproximados de la resistividad. Por tanto, es necesario tomar mediciones directamente en el sitio donde quedará ubicada la puesta a tierra.

Las técnicas para medir la resistividad del suelo son esencialmente las mismas cualquiera sea el propósito de la medida. Sin embargo la interpretación de los datos recolectados



puede variar considerablemente y especialmente donde se encuentren suelos con resistividades no uniformes.

Típicamente, los suelos poseen varias capas horizontales superpuestas, cada una teniendo diferente resistividad. A menudo se presentan también cambios laterales de resistividad pero más graduales a menos que se configuren fallas geológicas. Por tanto, las mediciones de resistividad deben ser realizadas para determinar si hay alguna variación importante de la resistividad con la profundidad.

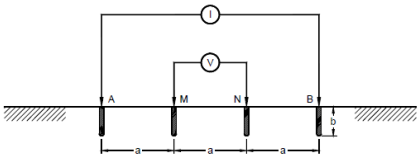
Las diferentes técnicas de medida son descritas en detalle en la IEEE Std 81-2012 [6], así como diferentes aspectos relevantes para la medición y modelamiento de los sistemas de puesta a tierra (SPT).

De acuerdo con los lineamientos del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE [1], Artículo 3.12.4 – Ítem 3.12.4.1, para la medición de la resistividad el terreno se puede aplicar el método tetraelectródico de “Wenner”, que es el más utilizado para aplicaciones eléctricas y el cual también ha sido adoptado como referencia por varias empresas electrificadoras de Colombia [5][7][8]. Se pueden usar otros métodos debidamente reconocidos y documentados en las normas y prácticas de la ingeniería, sin embargo se hará énfasis en el “Método de Wenner” por las razones ya aludidas.

2.2.1 Método de Wenner

El método de los cuatro puntos de Wenner es el método más preciso y popular. Son razones para esto que: el método obtiene la resistividad del suelo para capas profundas sin enterrar los electrodos a dichas profundidades; no es necesario un equipo pesado para realizar las medidas; los resultados no son afectados por la resistencia de los electrodos auxiliares o los huecos creados para hincarlos en el terreno.

El método consiste en enterrar pequeños electrodos tipo varilla, en cuatro huecos en el suelo, a una profundidad “b” y espaciados (en línea recta) una distancia “a” cómo se ilustra en la Figura 5.



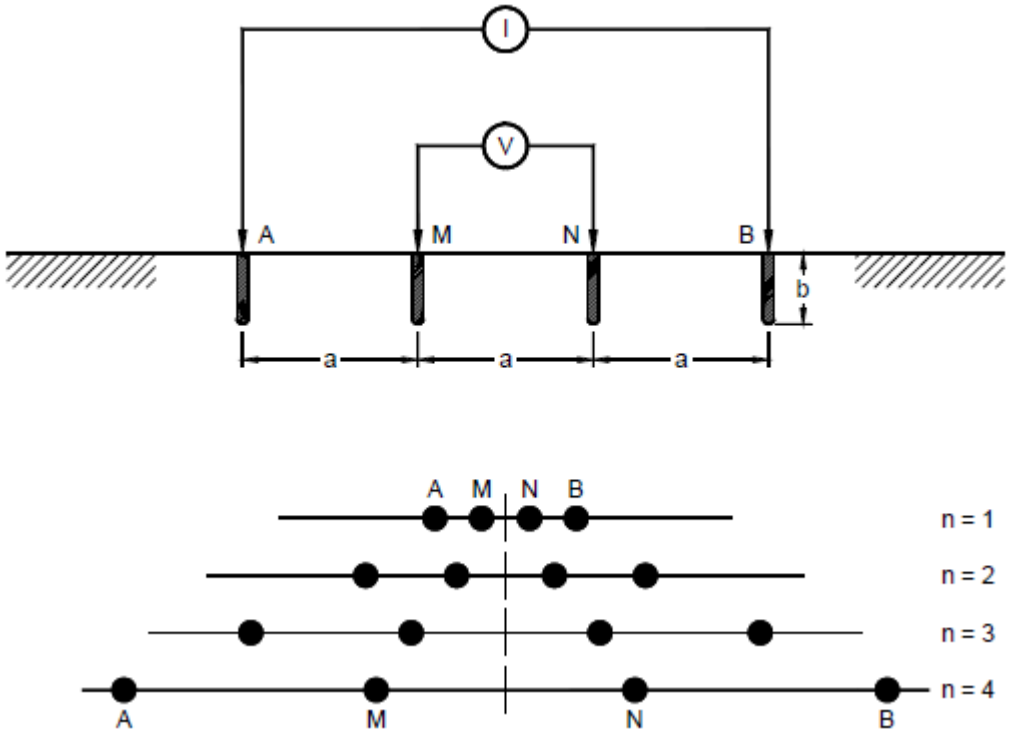


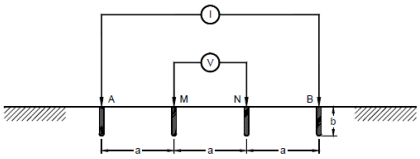
Figura 5. *Principio de Medición – Método Wenner [4].*

Una corriente "I" se inyecta entre los dos electrodos externos y el potencial "V" entre los dos electrodos internos es medido por el instrumento. El instrumento mide la resistencia R (=V/I) del volumen de suelo cilíndrico de radio "a" encerrado entre los electrodos internos. La resistividad aparente del suelo ρ, a la profundidad "a" es aproximada por la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \ [\Omega m]$$

Dado que en la práctica la distancia "a" es mucho mayor que la profundidad de enterramiento "b", (típicamente para a > 20b) [11], la ecuación se simplifica de la siguiente manera:

$$\rho = 2\pi aR \ [\Omega m]$$



Para determinar el cambio de la resistividad del suelo con la profundidad, el espaciamiento entre electrodos se varía desde unos pocos metros hasta un espaciamiento igual o mayor que la máxima dimensión esperada del sistema de puesta a tierra (por ejemplo, la mayor distancia posible entre 2 puntos de una malla, o LA PROFUNDIDAD DE LAS VARILLAS). El espaciamiento “a” del electrodo se interpreta como la profundidad aproximada a la cual se lee la resistividad del suelo. Para caracterizar la variación de la resistividad del suelo dentro de un área específica, se deben realizar varios grupos de medidas (perfiles) en diferentes direcciones.

Diferentes lecturas tomadas con varios espaciamientos alineados dan un grupo de resistividades (perfil), que cuando son graficadas contra el espaciamiento, indican si hay capas diferentes de suelo y dan una idea de su respectiva profundidad y resistividad, tal como se aprecia en la curva típica de la Figura 6.

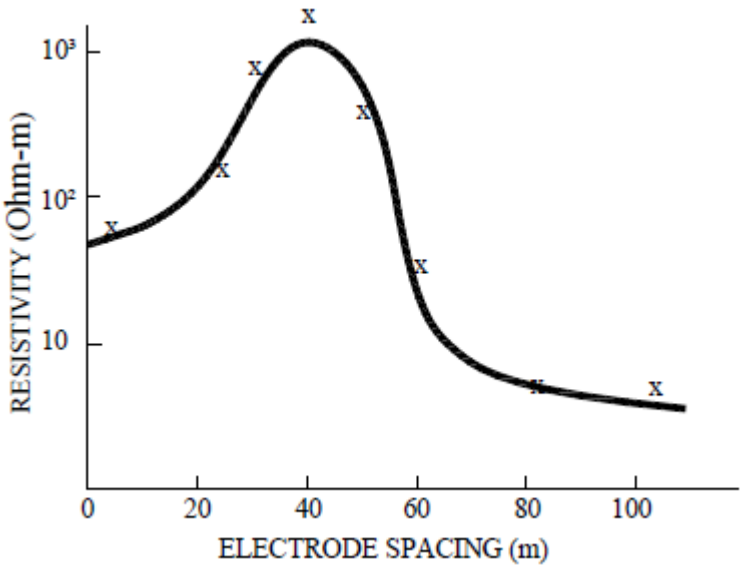
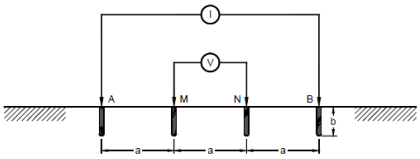


Figura 6. *Curva típica de resistividad del terreno [6].*

2.3 Modelamiento del Suelo [5][12]

Los modelos de resistividad del suelo mayormente usados son los de suelo homogéneo y de dos capas. El modelo de dos capas es normalmente una buena aproximación si el terreno posee varias capas de resistividad. Modelos de suelos multicapas suelen emplearse para condiciones de suelo más complejas.



Un modelo de suelo uniforme u homogéneo puede ser usado sólo cuando hay una moderada variación en la resistividad aparente. Si hay una gran variación en la resistividad aparente medida, el modelo homogéneo es poco probable que produzca resultados precisos.

Una representación más aproximada de las reales condiciones del suelo puede obtenerse mediante el uso de un modelo de suelo de dos capas. El modelo de dos capas consiste de una capa superior de profundidad finita y con diferente resistividad que la capa inferior de profundidad infinita. Existen varias técnicas para determinar un modelo equivalente de dos capas a partir de los datos de resistividad aparente obtenidos de las mediciones de campo. En algunos casos, un modelo de dos capas puede determinarse por inspección visual de la gráfica de resistividad aparente contra la profundidad obtenida mediante el método de Wenner.

2.3.1 Modelo de suelo homogéneo

Se considerará un suelo como homogéneo cuando los valores definitivos y representativos de resistividad aparente obtenidos para cada espaciamiento “a”, no se apartan en más de un 30% del valor máximo de los mismos. Para efectos de modelación del suelo, se asume entonces el valor promedio como la resistividad del terreno, considerando un medio semi-infinito cuyo límite superior es la superficie del suelo. Alternativamente puede aplicarse el método estadístico de BoxCox, que busca un valor con probabilidad de 70% de ser el real, valor que se utilizará luego en los cálculos necesarios para el diseño de la puesta a tierra.

2.3.2 Modelo de suelo de dos capas horizontales

Cuando la condición para asumir el suelo homogéneo no se cumple, se procura una aproximación más adecuada a la situación real, mediante un medio (suelo) a dos capas horizontales homogéneas, tal como se aprecia en la Figura 7.

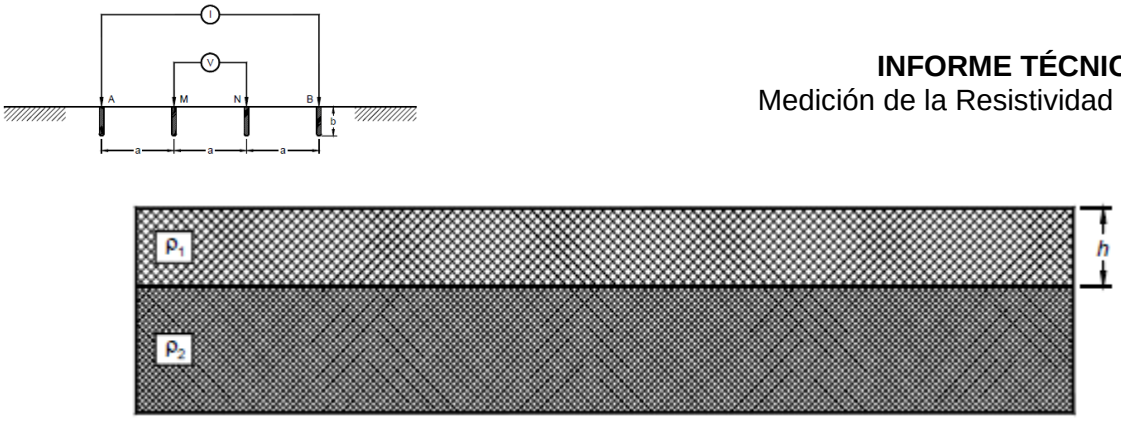


Figura 7. *Modelos de dos capas [4].*

Como se puede observar, los parámetros de este modelo son al resistividad de la capa externa, “ρ1”, su profundidad “h“, y la resistividad de la capa profunda “ρ2”.

Este es un modelo que considera el hecho de que la parte más externa del suelo siente la acción de las condiciones atmosféricas, incluyendo las variaciones estacionales, y en general, del ambiente próximo a la superficie del suelo, creándose una capa relativamente homogénea desde la superficie hasta algunos metros de profundidad. Más al fondo, se encuentra una condición razonablemente estable y homogénea hasta profundidades comparables a la longitud de los electrodos, que es la de interés para el comportamiento del sistema de puesta a tierra.

3. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

En primera instancia, cabe señalar que para la realización de las mediciones de resistividad del terreno incluidas en este informe, se utilizó el “Método de Wenner”, tal como lo recomienda el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE [1] y según como se describió en uno de los apartados discutidos previamente.

El equipo utilizado para realizar esta medición se denomina “telurómetro” y es el encargado de inyectar y medir las señales de corriente y tensión para la relación V/I según la ley de ohm y de esta manera obtener el valor de la resistencia aparente del terreno que se encuentra bajo prospección, conforme a los lineamientos del “Método de Wenner”, según lo descrito previamente.

Para para la realización del presente estudio de medición se utilizó un (1) telurómetro digital marca METREL y referencia MI–2088, cuyas características generales se pueden apreciar en la Tabla 2.

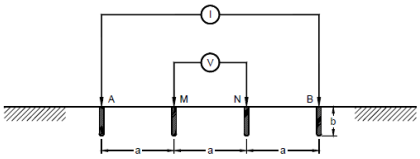
EQUIPO	*CARACTERÍSTICAS*
	*Equipo digital de pruebas multifunción portátil METREL MI-2088 para instalaciones eléctricas, con capacidad para realización de mediciones de resistividad y resistencia de puesta a tierra por diferentes métodos, mediciones de continuidad (equipotencialidad) de los conductores de protección y mediciones de resistencia de aislamiento (hasta 1 kV DC) y más. Función para registro y almacenamiento de datos, puerto de comunicación y descarga de datos y fuente de energía a través de baterías. Equipo con certificado de calibración vigente, emitido por laboratorio de calibración acreditado bajo norma ISO/IEC 17025 por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).*

Tabla 2. *Detalles telurómetro digital utilizado para las mediciones [13].*

El procedimiento utilizado para la ejecución de las mediciones fue el siguiente:

- Inspección y verificación general del terreno donde se van a efectuar las mediciones, con el propósito de determinar el espacio y área disponible y a su vez con ello, las trayectorias y los recorridos (mínimo en dos direcciones diferentes), en los cuales es posible hacer las diferentes mediciones de manera adecuada. Este es un aspecto muy importante, ya que si hay obstáculos en el espacio, si el terreno no es plano y llano o si no es posible enterrar los cuatro (4) electrodos, el proceso de medición puede verse truncado. Es importante señalar que el área elegida para la mediciones debe der lo más próxima al punto en donde se espera instalar el sistema de puesta a tierra que se está diseñando y así mismo, se recomienda que el espaciamiento entre los electrodos de medición se pueda variar desde unos pocos metros hasta un espaciamiento igual o mayor que la máxima dimensión esperada del sistema de puesta a tierra (por ejemplo, la mayor distancia posible entre dos (2) puntos de una malla, o LA PROFUNDIDAD DE LAS VARILLAS).

- Seguidamente, se procede a la instalación de los electrodos los cuales deben estar bien alineados, igualmente espaciados simétricamente (respecto al punto de interés) y cableados al telurómetro conforme a los lineamientos del “Método de Wenner”, utilizando las distancias apropiadas y los cuatro (4) hilos requeridos para enlazar correctamente la señales de corriente (lazo externo) y tensión (lazo interno), tal como



está ilustrado en la Figura 5; luego se procede a la operación el telurómetro para registrar la lectura de resistencia y resistividad el terreno. Este proceso se repite por igual para cada uno de los espaciamientos “a” que se deseen explorar en la dirección definida, incrementando gradualmente la separación de acuerdo a la disponibilidad de área y espacio.

- Lo anterior, se repite por igual para cada una de las direcciones o perfiles definidos, teniendo en cuenta que para cada trayectoria, las mediciones se deben realizar con las mismas distancias de separación “a” entre los electrodos para poder realizar las respectivas comparaciones.

La interpretación de las medidas de resistividad aparente realizadas en el terreno, es quizás la parte más difícil del programa de medición. El objetivo esencial es decidir sobre su aceptación o no, y poder derivar un modelo que sea una buena aproximación del suelo bajo estudio. Debe tenerse presente que el modelo del suelo es sólo una aproximación de las condiciones reales del terreno. La interpretación de las mediciones de resistividad puede hacerse ya sea manualmente o mediante técnicas de análisis por computador.

El procedimiento de análisis de las medidas de resistividad del suelo debe ser realizado de la siguiente manera [5]:

1. Cada uno de las direcciones o perfiles medidos en el área, deberá ser tabulado en función del espaciamiento “a”. Para cada espaciamiento “a”, se debe calcular el promedio aritmético de los valores de resistividad aparente ρa obtenidos para cada perfil.

2. Proceder al cálculo de la desviación en porcentaje de cada medida ρa (obtenida a un espaciamiento “a” determinado) en relación a su valor promedio.

3. Con los valores de resistividad promedio para cada espaciamiento, se tienen entonces los valores definitivos y representativos para trazar una curva de resistividad en función de la profundidad (espaciamiento “a” en el “Método de Wenner”). La curva resultante indicará visualmente si existen distintas capas de suelos y provee una medida de resistividad eléctrica del área bajo estudio.

4. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

En primera instancia es importante presentar los perfiles y las rutas que fueron utilizadas para la realización de las mediciones. Para ello, en la Figura 8 se puede observar de forma general las dos (2) trayectorias aproximadas utilizadas para la realización de las diferentes mediciones de resistividad del terreno presentadas en este informe técnico, las cuales se encuentran localizadas en la zona verde que separa los bloques de Matriceria y Plásticos del Centro ASTIN del SENA Salomia.

En la Figura 9 & Figura 10, el registro fotográfico con algunos de los detalles alrededor de las direcciones de medición de resistividad del terreno.



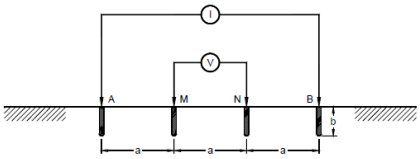
Figura 8. *Vista general de las trayectorias de medición seleccionadas.*




Figura 9. *Detalles de la medición en el Perfil No. 1 seleccionado.*




Figura 10. *Detalles de la medición en el Perfil No. 2 seleccionado.*



Como se puede apreciar, las mediciones fueron efectuadas sobre una de zona que se encuentra ubicada dentro del área de interés del cliente. Se optó por estos dos (2) perfiles ya que eran los espacios más llanos y planos disponibles de momento para facilitar la ejecución el proceso de medición de la resistividad de ese terreno.

En la Figura 11 se presenta el registro fotográfico con algunas de las actividades desarrolladas durante proceso de medición de la resistividad del terreno en el sitio de interés.

En la Tabla 3 se encuentran consignados todos los datos obtenidos durante el proceso de medición en cada uno de los perfiles así como la información técnica complementaria, de acuerdo con los lineamientos de los formatos de registro de toma de datos de una de las normas de medición de resistividad del terreno [5].



Figura 11. *Registro fotográfico con algunas de las actividades desarrolladas.*

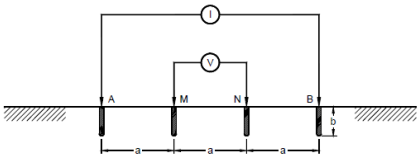
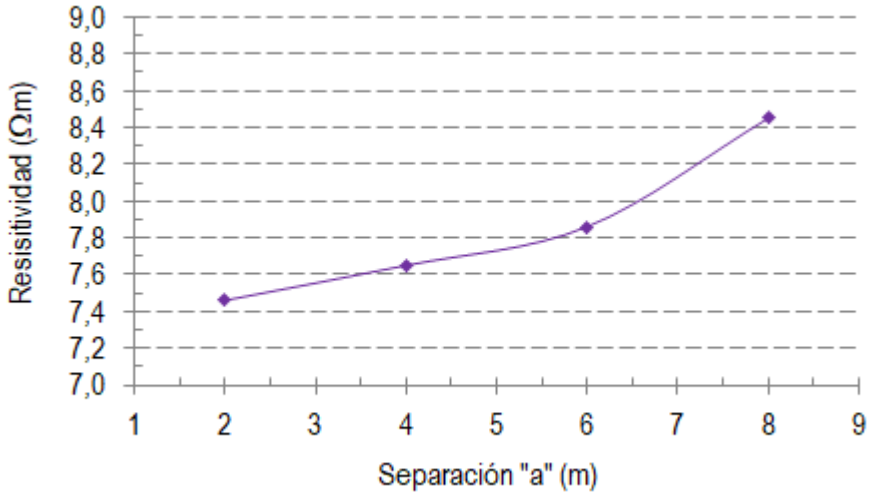


Tabla 3. *Formato con el registro de las mediciones de resistividad obtenidas en sitio.*

INFORMACIÓN GENERAL					
Fecha:	*16 de Noviembre de 2024*		*Estado del Terreno:*	*Seco*	
Sitio:	*Zona Verde Matriceria & Plásticos – ASTIN SENA Salomia (N 3°28'06.0", W 76°29'56.7")*		*Observaciones del Terreno:*	*Suelo campestre en zona urbana (Ver Figura 12)*	
			Cond. Ambientales:	*Día nublado 25°C / 50% H.R aprox.*	
Dirección:	*Calle 52 No. 2 Bis – 15*		*Método de Medición:*	*Wenner*	
Ciudad:	*Cali – Valle del Cauca*		*Equipo de Medición:*	*Metrel MI–2088*	
REGISTRO DE LAS MEDICIONES					
"b" = 0,20 m	*Perfil No. 1 (Dirección SO – NE aprox.)*		*Perfil No. 2 (Dirección NO – SE aprox.)*		*Resistividad Promedio*
Separación "a" (m)	*R_1 (Ω)*	*ρ_1 (Ωm)*	*R_2 (Ω)*	*ρ_2 (Ωm)*	*$(\rho_1+\rho_2)/2$ (Ωm)*
2	*0,605*	*7,60*	*0,582*	*7,31*	*7,46*
4	*0,306*	*7,68*	*0,303*	*7,61*	*7,65*
6	*0,207*	*7,82*	*0,209*	*7,89*	*7,86*
8	*0,163*	*8,17*	*0,174*	*8,73*	*8,45*
				Promedio Resultante:	*7,86*
				RESISTIVIDAD CON EL 70% DE PROBABILIDAD TRANSFORMACIÓN Box-Cox (Ver Tabla 4):	*8,05 Ωm*
				VALOR RECOMENDADO:	***10 Ωm***
CURVA DE RESISTIVIDAD PROMEDIO					



Observaciones:	
Realizado por:	*Ing. Paul C. Gonzalez H.*



Figura 12. *Detalle general de la primera capa del terreno.*

Ahora, dado que los perfiles muestran que las variaciones en la resistividad del terreno son relativamente pequeñas, se puede aplicar la transformación “BoxCox” tal como se indica en la Tabla 4.

	ρi (Ωm)	$Xi=ln(\rho i)$	$(Xi-x)^2$
	7,60	2,0281	0,00095
	7,68	2,0386	0,00042
	7,82	2,0567	0,00001
	8,17	2,1005	0,00172
	7,31	1,9892	0,00487
	7,61	2,0295	0,00087
	7,89	2,0656	0,00004
	8,73	2,1668	0,01162
Suma:	62,81	16,48	0,02050
Promedio:	7,851	2,059	0,00256
Desviación Estándar:	0,4062	0,05063	0,05062
Resistividad con el 70%:			**8,05 (Ωm)**

Tabla 4. *Transformación Box-Cox [4][5][12].*

Cabe recordar que la transformación Box-Cox es un método probabilístico, en el cual, a partir de los datos obtenidos en campo y asumiendo suelo homogéneo, se calcula un valor de resistividad con una probabilidad del 70% de no ser sobrepasado. El valor obtenido como resultado de la transformación es el que se utilizará luego como valor de referencia en los cálculos necesarios para el diseño de la puesta a tierra y/o diseño del sistema de apantallamiento contra descargas atmosféricas del segmento de la instalación a proyectar.

En ese orden de ideas, el valor de resistividad de terreno recomendado para el diseño del sistema de puesta a tierra de este proyecto es de:

$$\rho = 10\ [\Omega m]$$

Elaborado por:

Ing. Paul C. González H.
Cel. 3113852129
paul.acdc@gmail.com

5. BIBLIOGRAFÍA

[1] Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE. Resolución No. 40117, del 02 de abril de 2024. Ministerio de Minas y Energía de Colombia. 2024.

[2] Código Eléctrico Colombiano – NTC 2050. Segunda Actualización. ICONTEC 2020.

[3] Metodología para la Construcción de un Telurómetro de Frecuencia Variable. Jorge Humberto Sanz Alzate. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. 2011.

[4] NTC 6307. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA (SPT). Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC. 2018.

[5] NC-RA6-014. Mediciones para el sistema de puesta a tierra. Norma Técnica. Centros de Excelencia Técnica Unidad CET Normalización y Laboratorios. Empresas Públicas de Medellín EPM – ESP. Colombia. 2024.

[6] IEEE Std 81 – 2012 (Revision of IEEE Std 81 – 1983). IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System. The Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE. 2012.

[7] LA 400. Puestas a Tierra. Norma Técnica. ENEL – CODENSA S.A. E.S.P. 2017.

[8] NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN. CAPÍTULO 11 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA. SPT 2020 VERSIÓN 1. Empresas Municipales de Cali EMCALI EICE – ESP. Cali, Colombia. 2020.

[9] TIERRAS – Soporte de la seguridad eléctrica. Fabio Casas Ospina. Editorial ICONTEC Internacional. Quinta Edición 2010.

[10] ASTM D6431–18. Standard Guide for Using the Direct Current Resistivity Method for Subsurface Site Characterization. American Society for Testing and Materials ASTM. 2018.

[11] ASTM D3633/D3633M−12. Standard Test Method for Electrical Resistivity of Membrane-Pavement Systems. American Society for Testing and Materials ASTM. 2012.

[12] Fundamentos e Ingeniería de las Puesta a Tierra. Respuesta ante fallas eléctricas y rayos. German Moreno Ospina et al. Editorial Universidad de Antioquia. 2007.

[13] Earth – Insulation Tester MI 2088 User Manual. Version 1.0, Code no. 20 750 325. Metrel d.d. 2003.

[14] Resolución No. 5018, del 20 de Noviembre de 2019, por la cual se establecen lineamientos en Seguridad y Salud en el trabajo en los Procesos de Generación, Transmisión, Distribución y Comercialización de la Energía Eléctrica. Ministerio del Trabajo de Colombia. 2019.

6. ANEXO 1 – Certificado de Calibración del Equipo de Medición

ERASMUS ONAC ACREDITADO

ISO/IEC 17025: 2017
18-LAC-017

CERTIFICADO DE CALIBRACION
No. 6165

Fecha de emisión: 2024-08-14.

Cliente: ***ELECTRICIDAD Y TRANSFORMADORES S.A.S.***
Carrera 13 No 1 – 04 Oeste Piso 3, Cali, Teléfono: 315 366 30 72.
NIT: 901.194.209.

Instrumento calibrado: Telurómetro.

Fabricante: METREL.

Modelo: MI 2088.

Número de Serie: 20140424.

Fecha de Calibración: Agosto 14 del 2024.

Lugar de calibración: Laboratorio de Erasmus Carrera 17 No 39 – 58, Bogotá - Colombia.

1. METODO DE CALIBRACIÓN.

El método de calibración empleado es de comparación de las mediciones del instrumento a calibrar con el patrón, de acuerdo con los procedimientos:

- *LC-MT-007 método para la calibración de telurómetros Versión 3 del 2019-01-28.*
- *EURAMET. cg – 15. "Guidelines on the calibration of digital multimeters". Version 3.0 (02/2015).*

2. EQUIPOS UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN.

EQUIPO	NÚMERO DE SERIE	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	FECHA DE CALIBRACIÓN	EMITE
Calibrador Fluke 5502A	5440806	EVL951759	2024-03-01	Fluke.
Termohigrómetro Testo 175-H1	40326218	CLH 5824 CLT 14324	2024-01-25 2024-01-26	Conamet.
Década de resistencia CS-3000	19510092	E-24-0038	2024-01-10	Metrel d.o.o.

Tabla 1. Equipos utilizados en la calibración.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN PREVIA AUTORIZACIÓN.

ERASMUS S.A.S.
Dirección: Carrera 17 No. 39-58, Bogotá, Laboratorio de calibración.
Teléfono: (57) (1) 4864030 Ext. 1112
Correo electrónico: laboratorio@erasmus.com.co – ***Pagina Web:*** www.erasmus.com.co

3. TRAZABILIDAD METROLÓGICA.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de medida de acuerdo al sistema internacional de unidades SI.

4. RESULTADOS DE LA MEDICIÓN.

La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura k y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor.

Medición de Resistencia de Tierra - 4						
Rango	Unidad	Valor de referencia	Valor leído	Error de la lectura	Incertidumbre expandida	k
Ω	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0,00 A 19,99	Ω	0,50	0,52	0,020	0,011	1,96
	Ω	1,00	1,01	0,010	0,010	1,96
	Ω	19,04	19,03	-0,010	0,013	1,97
Ω	-----	-----	-----	-----	-----	-----
20,0 A 199,9	Ω	99,8	99,4	-0,40	0,24	1,97
	Ω	190,3	189,9	-0,40	0,16	1,97
Ω	-----	-----	-----	-----	-----	-----
200 A 999	Ω	1003	998	-5,0	2,5	1,97
kΩ	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1,000 A 1,999	kΩ	1,902	1,892	-0,0100	0,0012	1,96
kΩ	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2,00 A 19,99	kΩ	10,01	10,14	0,130	0,020	1,96
	kΩ	19,01	19,23	0,220	0,014	1,96

Tabla 2. Calibración de la función de medición de resistencia de tierra a 4 hilos.

Medición de tensión eléctrica C.C.						
Rango	Unidad	Valor de referencia	Valor leído	Error de la lectura	Incertidumbre expandida	k
V	----	-----	----	-----	-----	-----
0 A 600	V	0	0	0,00	0,57	1,97
	V	60	60	0,00	0,57	1,97
	V	300	301	1,00	0,57	1,97
	V	540	542	2,00	0,57	1,97

Tabla 3. Calibración de la función de medición de tensión eléctrica C.C.

Medición de tensión eléctrica C.A.							
Rango	Unidad	Frecuencia	Valor de referencia	Valor leído	Error de la lectura	Incertidumbre expandida	k
V	----	kHz	-----	----	-----	-----	-----
0 A 600	V	0,045	60	60	0,00	0,59	1,97
	V	0,045	300	301	1,00	0,59	1,97
	V	0,045	540	542	2,0	1,3	1,99

Tabla 4. Calibración de la función de medición de tensión eléctrica C.A.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN PREVIA AUTORIZACIÓN.

CERTIFICADO DE CALIBRACION
No. 6165

Fecha de emisión: 2024-08-14.

5. OBSERVACIONES.

- La calibración se realiza con conexión a una fuente de tensión eléctrica C.C. externa.
- La calibración de la función de resistencia de tierra se realizó a una frecuencia de: 125 Hz.

6. INFORMACIÓN ADICIONAL DE LA CALIBRACIÓN.

Encargado(s) de la calibración:	Laura Milena Velandia R. (Sesión 1) – Cristian F. Sandoval Ramirez (Sesión 2).			
Supervisor:	Rafael Zamudio Ayala.			
Personal adicional:	Ninguno.			
Código de muestra:	10087.			
Fecha de recepción	2024-08-09.			
Sesión 1.				
Condiciones ambientales	***Temperatura (°C)***	21,7 ± 0,2	***Humedad relativa (%)***	51,9 ± 1,5
Intervalo de tiempo de la prueba	***Hora Inicial***	8:55	***Hora Final***	9:01
Sesión 2.				
Condiciones ambientales	***Temperatura (°C)***	22,8 ± 0,2	***Humedad relativa (%)***	52,3 ± 1,5
Intervalo de tiempo de la prueba	***Hora Inicial***	10:59	***Hora Final***	11:03

Tabla 5. Información adicional de la calibración.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN PREVIA AUTORIZACIÓN.

ERASMUS S.A.S.
Dirección: Carrera 17 No. 39-58, Bogotá, Laboratorio de calibración.
Teléfono: (57) (1) 4864030 Ext. 1112
Correo electrónico: laboratorio@erasmus.com.co – ***Pagina Web:*** www.erasmus.com.co

7. RESPONSABLES.

Elaboro	Aprobado
Alexander Duarte Viloria.	Elena P. Prieto Rodríguez.
Metrólogo del laboratorio.	Coordinador del laboratorio.

- Los resultados de calibración, medidas y declaración de conformidad solo se refieren al instrumento bajo prueba.
- Este certificado de calibración expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y no podrán ser adulteradas ni manipuladas por personas ajenas a **ERASMUS S.A.S**.
- Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren en el momento y condiciones en el que se realizaron las mediciones.
- **ERASMUS S.A.S.** no se responsabiliza por la mala manipulación de los instrumentos calibrados o por los resultados que se obtengan por alguna persona o entidad a partir del uso del contenido de este certificado de calibración.
- **ERASMUS S.A.S.** no realiza ningún tipo de muestreo en las calibraciones realizadas.
- **ERASMUS S.A.S.** no se responsabiliza por la información y/o datos entregados por el cliente. (Esta información estará identificada en letra Cambria 11 en forma cursiva).
- **ERASMUS S.A.S.** no autoriza en ninguna circunstancia el uso del símbolo de acreditado de ONAC a sus clientes.

Final del certificado.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN PREVIA AUTORIZACIÓN.