



Pregrado

**Carrera: GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO
ELÉCTRICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**Asignatura (UIC): PROYECTO DE INTEGRACION
CURRICULAR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

**Título en: Tecnólogo Universitario en Gestión del
mantenimiento eléctrico y eficiencia energética**

Tema: Diagnóstico Integral Del Sistema De Protección

Eléctrica: Caso De Estudio – Mecánica Automotriz

ISTER.

**Autores: Huérfano Beltrán Daniel Fernando,
Iza Guasumba Elian Mateo,
Ramírez Chango Luis Oswaldo.**

Tutor: Ing. Pérez Mora Santiago Rogelio MSc.

Fecha: Sangolquí, 26 de agosto de 2025



Autor:



Huérfano Beltrán Daniel Fernando

Título a obtener: Tecnólogo Universitario en Gestión de
Mantenimiento Eléctrico y Eficiencia Energética

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: daniel.huerfano@ister.edu.ec

Autor:



Iza Guasumba Elian Mateo

Título a obtener: Tecnólogo Universitario en Gestión de
Mantenimiento Eléctrico y Eficiencia Energética

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: elian.iza@ister.edu.ec

Autor:



Ramírez Chango Luis Oswaldo

Título a obtener: Tecnólogo Universitario en Gestión de
Mantenimiento Eléctrico y Eficiencia Energética

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: luisoswaldo.ramirez@ister.edu.ec

Dirigido por:



Ing. Pérez M. Santiago R. MSc.

Título: Ing. Eléctrico; Master en Diseño Industrial y Procesos

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: santiago.perez@ister.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

©2025 Tecnológico Universitario

Rumiñahui SANGOLQUÍ – ECUADOR

AUTOR 1: HUÉRFANO BELTRÁN DANIEL FERNANDO

AUTOR 2: IZA GUASUMBA ELIAN MATEO

AUTOR 3: RAMÍREZ CHANGO LUIS OSWALDO

DIAGNÓSTICO INTEGRAL DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA: CASO DE
ESTUDIO – MECÁNICA AUTOMOTRIZ ISTER.



CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2025-ISTER-2-2.3

Sangolquí, 22 de agosto del 2025

**MSc. Elizabeth Ordoñez
DIRECTORA DE DOCENCIA**

**MSc. Mónica Loachamín
COORDINADORA DE TITULACIÓN**

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE
UNIVERSITARIO**

Presente

Por medio de la presente, yo, Daniel Fernando Huérfano Beltrán declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: Ser autor del trabajo de titulación denominado. Diagnóstico Integral Del Sistema De Protección Eléctrica: Caso De Estudio-Mecánica Automotriz, de la Tecnología Superior Universitaria en Gestión de Mantenimiento Eléctrico y Eficiencia Energética; y a su vez manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui con condición de Universitario los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,



Daniel Fernando Huérfano Beltrán
C.I.:1754355160

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero
Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628
f t i c www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2025-ISTER-2-2.3

Sangolquí, 22 de agosto del 2025

MSc. Elizabeth Ordoñez
DIRECTORA DE DOCENCIA

MSc. Mónica Loachamín
COORDINADORA DE TITULACIÓN

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE
UNIVERSITARIO**

Presente

Por medio de la presente, yo, Elian Mateo Iza Guasumba declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: Ser autor del trabajo de titulación denominado Diagnóstico Integral Del Sistema De Protección Eléctrica: Caso De Estudio-Mecánica Automotriz, de la Tecnología Superior Universitaria Gestión de Mantenimiento Eléctrico y Eficiencia Energética; y a su vez manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui con condición de Universitario los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
ELIAN MATEO IZA
GUASUMBA

Validar únicamente con FirmaEC

Elian Mateo Iza Guasumba
C.I.: 1727296624

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2025-ISTER-2-2.3

Sangolquí, 22 de agosto del 2025

MSc. Elizabeth Ordoñez
DIRECTORA DE DOCENCIA

MSc. Mónica Loachamín
COORDINADORA DE TITULACIÓN

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE
UNIVERSITARIO**

Presente

Por medio de la presente, yo, Luis Oswaldo Ramírez Chango declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: Ser autor del trabajo de titulación denominado Diagnóstico Integral Del Sistema De Protección Eléctrica: Caso De Estudio-Mecánica Automotriz, de la Tecnología Superior Universitaria Gestión de Mantenimiento Eléctrico y Eficiencia Energética; y a su vez manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui con condición de Universitario los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,



Luis Oswaldo Ramírez Chango
C.I.: 1719105908

FORMULARIO PARA ENTREGA DE PROYECTOS EN BIBLIOTECA INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

CT-ANX-2025-ISTER-3

CARRERA:

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

AUTORES:

AUTOR 1: DANIEL FERNANDO HUÉRFANO BELTRÁN

AUTOR 2: ELIAN MATEO IZA GUASUMBA

AUTOR 3: LUIS OSWALDO RAMÍREZ CHANGO

TUTOR (METODOLÓGICO Y ACADÉMICO):

ING. SANTIAGO ROGELIO PÉREZ MORA MSC.

ING. VICENTE PAUL ASTUDILLO CORTEZ

CONTACTO ESTUDIANTES:

0939224404

0983044581

0988816468

CORREO ELECTRÓNICO:

daniel.huerfano@ister.edu.ec

elian.iza@ister.edu.ec

luisoswaldo.ramirez@ister.edu.ec

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero

Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628

    www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec

TEMA:

DIAGNÓSTICO INTEGRAL DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA: CASO DE ESTUDIO – MECÁNICA AUTOMOTRIZ ISTER.

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

HIBRIDA

RESUMEN EN ESPAÑOL:

El presente proyecto tiene como objetivo evaluar el estado actual del sistema de protección contra descargas atmosféricas del Instituto Tecnológico Universitario Rumiñahui, específicamente en el área del taller de mecánica automotriz. Se realiza un diagnóstico integral mediante inspecciones visuales, mediciones de resistencia del terreno, resistencia de puesta a tierra, y resistencia del aislamiento, aplicando normativas internacionales como IEC 62305, IEEE80, IEEE 81 y la NEC ecuatoriana. Como resultado, se identifica las condiciones operativas del pararrayo tipo Franklin, la malla de puesta a tierra y los elementos conductores, evidenciando la necesidad de establecer un plan de mantenimiento preventivo y correctivo que asegure el funcionamiento confiable del sistema. Los valores obtenidos permiten validar la conformidad técnica de la instalación y proponer mejoras con base en los estándares vigentes.

PALABRAS CLAVE:

Sistema de protección eléctrica, puesta a tierra, descarga atmosférica, pararrayo Franklin, resistencia de aislamiento, mantenimiento preventivo, normativa IEC, normativa NEC.

ABSTRACT:

The present project aims to evaluate the current state of the lightning protection system of the Rumiñahui University Technological Institute, specifically in the area of automotive mechanics workshop. A comprehensive diagnostic is carried out through visual inspections, measurements of ground resistance, earth resistance, and insulation resistance, applying international standards such as IEC 62305, IEEE 80, IEEE 81, and the Ecuadorian NEC. As a result, the operational conditions of the Franklin-type lightning rod, the grounding mesh,

and the conductive elements are identified, highlighting the need to establish a preventive and corrective maintenance plan that ensures the reliable functioning of the system. The values obtained allow for the validation of the technical compliance of the installation and propose improvements based on current standards.

PALABRAS CLAVE:

Electric protection system, grounding system, atmospheric discharge, Franklin lightning rod, insulation resistance, preventive maintenance, IEC standards, NEC standards.



Firmado electrónicamente por:
**DANIEL FERNANDO
HUERFANO BELTRAN**
Validar únicamente con FirmaEC

Firma del Estudiante (AUTOR 1)
Daniel Fernando Huérfano Beltrán

C.I.: 175435516-0



Firmado electrónicamente por:
**ELIAN MATEO IZA
GUASUMBA**
Validar únicamente con FirmaEC

Firma del Estudiante (AUTOR 2)
Elián Mateo Iza Guasumba

C.I.: 172729662-4



Firmado electrónicamente por:
**LUIS OSWALDO
RAMIREZ CHANGO**
Validar únicamente con FirmaEC

Firma del Estudiante (AUTOR 3)
Luis Oswaldo Ramírez Chango

C.I.: 171910590-8



SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2025-ISTER-4

Sangolquí, 22 de agosto del 2025

Sres.-

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

Presente

Yo Daniel Fernando Huérfano Beltrán, con C.I.:1754355160 alumno de la Carrera GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA - HÍBRIDO, cedo al INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO, los derechos de publicaciones del presente trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional para hacer uso de todos los contenidos con fines estrictamente académico o de investigación.

Atentamente,



Firma del Estudiante

Daniel Fernando Huérfano Beltrán

C.I.:1754355160

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero

Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628

f i t y w www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec



SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2025-ISTER-4

Sangolquí, 22 de agosto del 2025

Sres.-

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

Presente

Yo ELIAN MATEO IZA GUASUMBA, con C.I.: 1727296624 alumno de la Carrera Gestión de MANTENIMIENTO ELÉCTRICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA, MODALIDAD HÍBRIDA, cedo al INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO, los derechos de publicaciones del presente trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional para hacer uso de todos los contenidos con fines estrictamente académico o de investigación.

Atentamente,



Firma del Estudiante
Elian Mateo Iza Guasumba
C.I.: 1727296624

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero
Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628
www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec

SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2025-ISTER-4

Sangolquí, 22 de agosto del 2025

Sres.-

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

Presente

Yo LUIS OSWALDO RAMÍREZ CHANGO, con C.I.: 1719105908 alumno de la Carrera GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA, MODALIDAD HÍBRIDA, cedo al INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO, los derechos de publicaciones del presente trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional para hacer uso de todos los contenidos con fines estrictamente académico o de investigación.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
**LUIS OSWALDO
RAMÍREZ CHANGO**

Validar únicamente con FirmaEC

Firma del Estudiante

Luis Oswaldo Ramírez Chango

C.I.: 1719105908

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero

Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628

    **www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec**

Dedicatoria:

A la constancia, dedicación y bondad de Dios que, con su bendición y protección en nuestras vidas, ha llenado de muchas bendiciones, dedicamos este trabajo especialmente.

A nuestros hijos, quienes con su compañía y amor han sabido esperar pacientemente en esta etapa para la culminación de nuestros estudios.

A nuestras esposas, quienes nos han apoyado con paciencia, amor y tolerancia, en cada una de nuestras experiencias de nuestras vidas, para así, poder concluir con nuestras metas.

A nuestras queridas madres, abuelitas, y hermanas, quienes han demostrado ser un referente de perseverancia, esfuerzo y amor para poder seguir adelante.

A los docentes quienes guiaron nuestros pasos de estudios, con sabiduría, conocimiento y experiencia en cada una de las materias implantadas en nuestra carrera estudiantil, que nos llevó a la culminación de nuestra carrera profesional en la obtención de un escalón más como un profesional en la rama de Mantenimiento Eléctrico y Eficiencia Energética.

Agradecimientos:

Agradecemos a todas las personas que contribuyeron para la realización de este proyecto. En primer lugar, a nuestros tutores; tutor técnico Ing. Santiago Pérez Mora y tutor académico Ing. Paul Astudillo Cortez; por su orientación y guía durante esta etapa estudiantil. Su conocimiento y experiencia han sido muy oportuna; además queremos agradecer a nuestros familiares, compañeros y amigos por su apoyo incondicional. También se agradece a las autoridades del Instituto Tecnológico Universitario Rumiñahui por su colaboración para poder tener accesibilidad para poder realizar las actividades dentro de la Institución. Agradezco el trabajo en equipo realizado por los Sr. HUÉRFANO BELTRÁN DANIEL FERNANDO, IZA GUASUMBA ELIAN MATEO, RAMÍREZ CHANGO LUIS OSWALDO.

Muchas gracias.

Resumen:

El presente proyecto tiene como objetivo evaluar el estado actual del sistema de protección contra descargas atmosféricas del Instituto Tecnológico Universitario Rumiñahui, específicamente en el área del taller de mecánica automotriz. Se realiza un diagnóstico integral mediante inspecciones visuales, mediciones de resistencia del terreno, resistencia de puesta a tierra, y resistencia del aislamiento, aplicando normativas internacionales como IEC 62305, IEEE80, IEEE 81 y la NEC ecuatoriana. Como resultado, se identifica las condiciones operativas del pararrayo tipo Franklin, la malla de puesta a tierra y los elementos conductores, evidenciando la necesidad de establecer un plan de mantenimiento preventivo y correctivo que asegure el funcionamiento confiable del sistema. Los valores obtenidos permiten validar la conformidad técnica de la instalación y proponer mejoras con base en los estándares vigentes.

Palabras claves: Sistema de protección eléctrica, puesta a tierra, descarga atmosférica, pararrayo Franklin, resistencia de aislamiento, mantenimiento preventivo, normativa IEC, normativa NEC.

Abstract:

The present project aims to evaluate the current state of the lightning protection system of the Rumiñahui University Technological Institute, specifically in the area of automotive mechanics workshop. A comprehensive diagnostic is carried out through visual inspections, measurements of ground resistance, earth resistance, and insulation resistance, applying international standards such as IEC 62305, IEEE 80, IEEE 81, and the Ecuadorian NEC. As a result, the operational conditions of the Franklin-type lightning rod, the grounding mesh, and the conductive elements are identified, highlighting the need to establish a preventive and corrective maintenance plan that ensures the reliable functioning of the system. The values obtained allow for the validation of the technical compliance of the installation and propose improvements based on current standards.

Keywords: Electric protection system, grounding system, atmospheric discharge, Franklin lightning rod, insulation resistance, preventive maintenance, IEC standards, NEC standards.

Índice de Contenido

Todos los derechos reservados.	ii
Dedicatoria:	xv
Agradecimientos:	xvi
Resumen:	xvii
Abstract:	xviii
Índice de Contenido	xix
Índice de Figuras	xxiv
INTRODUCCIÓN	1
Contexto del problema	1
Planteamiento del problema	1
Alcance y resultados esperados	1
Objetivo general	1
Objetivos específicos	2
Justificación	2
CAPÍTULO I	3
MARCO TEORICO	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Descarga atmosférica	4
1.3. Sistema de Protección	7

1.4.	Fuente de descarga atmosférica	10
1.5.	Pararrayo	11
1.5.1.	Punta Franklin del pararrayo.....	13
1.5.1.1.	Capacidad punta Franklin del pararrayo	14
1.6.	Diseño de captación de rayos.....	16
1.6.1.	Características de diseño de recepción de descarga atmosférica	16
1.6.2.	Componentes principales	18
1.7.	Malla puesta a tierra.....	19
1.7.1.	Geometría sobre la malla	26
1.8.	Conductores eléctricos	26
1.9.	Resistividad del suelo y su medición	28
1.10.	Resistencia de la puesta a tierra y su medición	30
1.11.	Medición de resistencia de aislamiento	31
1.12.	Normativas aplicadas al sistema de descargas atmosféricas.....	35
CAPÍTULO II.....		36
METODOLOGÍA		36
2.1	Tipo de Investigación.....	36
2.2	Estado actual de la instalación	36
2.2.1	Elementos del sistema de protección	36
2.2.2	Punta captadora Franklin	37
2.2.3	Barra de conexión del sistema de puesta a tierra	38
2.2.4	Cable de la baja del pararrayo.....	39
2.2.5	Bobina de choque.....	41

2.2.6	Contador de eventos atmosféricos	42
2.3	Instrumentos o Equipos profesionales para el registro de datos.	43
2.3.1	Megger MIT 1025	43
2.3.2	Telurómetro Fluke 1625-2	45
2.4	Planos de Construcción	47
2.5	Malla puesta a tierra	48
2.5.1	Plano malla puesta a tierra	49
2.6	Procedimiento de investigación para mediciones del sistema de descargas atmosféricas	50
2.7	Procedimiento norma IEC 62305	50
2.7.1	Verificación de la instalación norma IEC 62305	50
2.7.2	Medición de resistencia de malla de tierra norma IEC 62305	50
2.7.4	Medición de la puesta a tierra en malla anillo, Wenner norma IEC 62305	53
2.7.5	Análisis e Informe del registro de datos resistencia de suelo	55
2.7.6	Medición de aislamiento del conductor, norma IEC 62305	56
2.7.6.1	Interpretación de indicadores PI, Normativa IEEE 43-2000	57
2.7.6.2	Tabla. Interpretación de indicadores DAR, Normativa IEEE 43-2000	57
2.7.7	Análisis e Informe de registro de datos megado de cable	58
2.7.8	Consideración ética	59
CAPÍTULO III		60
DESARROLLO DEL PROYECTO		60
3.1	Verificación estado actual de la implementación del sistema de protección de descargas atmosféricas	60

3.2	Inspección visual del sistema de los elementos principales.....	60
3.2.1	Inspección del empotramiento del mástil	61
3.2.2	Revisión de contactos eléctricos de la barra de equipotenciación	62
3.3	Megado de cable (Pruebas DAR, PI).....	63
3.3.1	Megado del cable (Prueba DAR)	64
3.3.2	Megado del cable (Prueba IP)	66
3.3.3	Calibración del equipo Megger MIT1025	67
3.4	Toma de datos resistencia de malla de tierra y de suelo métodos (3 POLOS, WENNER)	69
3.4.1	Prueba de resistencia de malla de tierra y su medición método (3 polos)	70
3.4.2	Prueba de resistencia del suelo y su medición método (Wenner o 4 picas).....	73
3.4.3	Calibración del equipo Megger MIT1025	78
3.5	Análisis comparativo de los parámetros medidos de pruebas eléctricas según las normas IEC 62305 / IEEE 43-2000 / IEEE 81.	80
3.5.1	Análisis comparativo Megado del cable Prueba DAR (Dielectric Absorption Ratio)	80
3.5.1.1	Análisis Comparativo Megado del cable prueba PI (Índice de Polarización).....	80
3.5.2	Análisis comparativo resistencia de la malla de Tierra 3 Polos método 62%	81
3.5.2.1	Análisis comparativo resistencia del suelo 4 Polos o método (Wenner)	82
3.5.3	Análisis de la desviación de los valores eléctricos medidos con la norma	83
3.6	CheckList del Mantenimiento del Sistema de Descarga Atmosférica.....	84
CAPÍTULO IV		85
CONCLUSIONES RECOMENDACIONES		85

4.1.	Conclusiones	85
4.2.	Recomendaciones	87
Referencias Bibliográficas		88

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Descarga atmosférica - rayo</i>	5
Figura 2 <i>Método de esfera rodante</i>	8
Figura 3 <i>Ángulo de protección.</i>	9
Figura 4 <i>Diseño de protección contra descargas atmosféricas.</i>	12
Figura 5 <i>Pararrayo pasivo.</i>	13
Figura 6 <i>Pararrayos de punta franklin</i>	13
Figura 7 <i>Diseño de captación de rayos</i>	16
Figura 8 <i>Sistema de recepción de descarga atmosférica</i>	17
Figura 9 <i>Sistema de puesta a tierra en electrodo simple</i>	20
Figura 10 <i>Sistema de puesta a tierra en placa horizontal</i>	20
Figura 11 <i>Sistema de puesta a tierra en placa vertical</i>	21
Figura 12 <i>Sistema de puesta a tierra en triangulo</i>	21
Figura 13 <i>Sistema de puesta a tierra en cruz</i>	22
Figura 14 <i>Sistema de puesta a tierra en pata de ganso</i>	22
Figura 15 <i>Sistema de puesta a tierra en malla simple</i>	23
Figura 16 <i>Sistema de puesta a tierra en malla compuesta</i>	23
Figura 17 <i>Sistema de puesta a tierra en malla compuesta o Anillo</i>	24
Figura 18 <i>Método de Wenner</i>	29
Figura 19 <i>Método de caída de potencial</i>	30
Figura 20 <i>Megóhmetro</i>	32
Figura 21 <i>Sistema de protección atmosférica del ISTER</i>	37
Figura 22 <i>Punta captadora tipo Franklin</i>	37

Figura 23 <i>Conexión del sistema de puesta a tierra en la Barra de equipotenciación</i>	39
Figura 24 <i>Cable TTU 2/0 CU AWG 2000V 75°C</i>	40
Figura 25 <i>Bobina de choque</i>	41
Figura 26 <i>Contador de eventos atmosféricos</i>	42
Figura 27 <i>Megger MIT1025</i>	43
Figura 28 <i>Megado cable en construcción</i>	45
Figura 29 <i>Fluke 1625-2</i>	45
Figura 30 <i>Resistencia de malla de puesta a tierra en construcción</i>	47
Figura 31 <i>Plano taller de mecánica automotriz</i>	48
Figura 32 <i>Lugar de implementación malla puesta a tierra en construcción</i>	48
Figura 33 <i>Diseño malla puesta a tierra</i>	49
Figura 34 <i>Método de caída de potencial</i>	51
Figura 35 <i>Valor registrado de la Resistencia de malla de puesta a tierra en construcción</i>	52
Figura 36 <i>Método de Wenner</i>	53
Figura 37 <i>Formato para el registro de datos de resistencia del suelo</i>	55
Figura 38 <i>Esquema del Megóhmetro</i>	56
Figura 39 <i>Formato de toma de datos</i>	58
Figura 40 <i>Formato Análisis de Trabajo Seguro (ATS)</i>	59
Figura 41 <i>Elementos del sistema de descargas atmosféricas</i>	60
Figura 42 <i>Mástil instalado</i>	61
Figura 43 <i>Tablero de la barra de equipotenciación</i>	62
Figura 44 <i>Desconexión de contactos eléctricos</i>	64
Figura 45 <i>Dielectric Absorption Ration (DAR)</i>	65
Figura 46 <i>Índice de Polarización o Polarization Index (PI)</i>	66

Figura 47 <i>Certificación de la calibración del equipo Megger MIT1025</i>	68
Figura 48 <i>Certificación calibración del equipo Megger MIT1025</i>	69
Figura 49 <i>Prueba 3 polos o método 62% (malla de tierra)</i>	70
Figura 50 <i>Prueba 3 polos o método 62% (malla de servicio)</i>	71
Figura 51 <i>Prueba 3 polos o método 62% (malla de servicio y malla de tierra</i>	71
Figura 52 <i>Formato del registro de datos de la resistencia eléctrica del suelo método 3 polos</i> ...	72
Figura 53 <i>Prueba resistencia del suelo método Wenner (4 pica.) a 1 metro.</i>	74
Figura 54 <i>Prueba resistencia del suelo método Wenner (4 pica.) a 2 metro.</i>	74
Figura 55 <i>Prueba resistencia del suelo método Wenner (4 pica.) a 4 metro.</i>	75
Figura 56 <i>Prueba resistencia del suelo método Wenner (4 pica.) a 6 metro.</i>	75
Figura 57 <i>Prueba resistencia del suelo método Wenner (4 pica.) a 8 metro.</i>	76
Figura 58 <i>Prueba resistencia del suelo método Wenner (4 pica.) a 10 metro.</i>	76
Figura 59 <i>Formato del registro de datos obtenidos de la resistencia eléctrica del suelo método Wenner</i>	77
Figura 60 <i>Certificación de la calibración del equipo Fluke 1625-2</i>	79
Figura 61 <i>CheckList del mantenimiento del sistema descargas atmosféricas</i>	84

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Generación de rayo</i>	6
Tabla 2. <i>Normativa para el diseño de la punta Franklin del pararrayo</i>	15
Tabla 3. <i>Condición del aislamiento</i>	33
Tabla 4. <i>Condición de estado del aislamiento</i>	33
Tabla 5. <i>Calidad del aislamiento DD</i>	34
Tabla 6 <i>Características técnicas del Pararrayo de punta Franklin</i>	38
Tabla 7 <i>Características técnicas del Barra de equipotenciación</i>	39
Tabla 8 <i>Datos técnicos de Conductor</i>	40
Tabla 9 <i>Características de la bobina de choque</i>	41
Tabla 10 <i>Características del contador de eventos atmosféricos</i>	42
Tabla 11 <i>Características del Megger MIT1025</i>	44
Tabla 12 <i>Valores medidos en construcción de aislamiento del cable</i>	44
Tabla 13 <i>Características del Fluke 1625-2</i>	46
Tabla 14 <i>Valores medidos en construcción de la resistencia de la tierra</i>	46
Tabla 15 <i>Información de construcción de malla de tierra</i>	49
Tabla 16 <i>Configuración 3 polos o metodo 62%</i>	51
Tabla 17 <i>Tabla comparativa valor resistencia de malla normativa IEC 62305</i>	52
Tabla 18 <i>Configuración de electrodos metodo Wenner</i>	54
Tabla 19 <i>Tabla del valor solicitado normativa con el valor medido en construcción</i>	54
Tabla 20 <i>Tipo de pruebas con el megger e interpretación de indicadores</i>	56
Tabla 21 <i>Condición del aislamiento</i>	57
Tabla 22. <i>Condición de estado del aislamiento</i>	57

Tabla 23 <i>Estado de los elementos</i>	61
Tabla 24 <i>Estado del empotramiento del mastil</i>	62
Tabla 25 <i>Revisión de contactos eléctricos instalados en la barra</i>	63
Tabla 26 <i>Prueba Dielectric Absorption Ration (DAR)</i>	65
Tabla 27 <i>Prueba Índice de Polarización (PI)</i>	67
Tabla 28 <i>Datos de la resistencia de las mallas método 3polos o método 62%</i>	73
Tabla 29 <i>Datos de la medición de la resistencia de las mallas método 4 polos (Wenner)</i>	78
Tabla 30 <i>Análisis según normativa de la medición del megado del cable Prueba (DAR)</i>	80
Tabla 31 <i>Análisis según normativa de la medición del megado del cable Prueba PI (Índice de Polarización)</i>	81
Tabla 32 <i>Análisis según normativa de la medición de la resistencia de la malla de Tierra 3 Polos método 62%</i>	81
Tabla 33 <i>Analisis según normativa de la medición resistencia y resistividad del suelo 4 Polos o método (Wenner)</i>	82
Tabla 34 <i>Análisis de la desviación de los valores eléctricos medidos</i>	83

INTRODUCCIÓN

Contexto del problema

En la cubierta del Taller de Mecánica Automotriz del Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui (ISTER) se encuentra implementado un sistema de protección contra descargas atmosféricas, compuesto de un pararrayo y una malla de tierra, esta medida fue adoptada con la finalidad de proteger la integridad física de las instalaciones, equipos y del personal frente a los fenómenos eléctricos de origen natural.

Planteamiento del problema

El sistema de protección no cuenta con un plan de mantenimiento periódico que permita verificar el estado del sistema y conocer si aún cumple con la normativa vigente o su funcionamiento sigue siendo confiable en caso de una descarga atmosférica.

Alcance y resultados esperados

Se va a verificar el estado actual del sistema de protección (puesta a tierra y pararrayo) que se implementó hace 16 meses, mediante la medición y análisis de la humedad y potencial de hidrógeno (PH) del suelo, con el que se obtendrá un reporte de las mediciones obtenidas. Con el análisis de los resultados se va a comprobar si el sistema es confiable para lo que fue implementado y se elaborara un plan de gestión de mantenimiento de sistema de puesta a tierra y pararrayo.

Objetivo general

- Realizar un plan de Mantenimiento del Sistema de Protección Eléctrica utilizando mediciones con equipos especializados para establecer un óptimo funcionamiento en base a la normativa vigente.

Objetivos específicos

- Verificar el estado actual del Sistema de Protección contra descargas atmosféricas mediante la instalación de un pararrayo estado actual para mejoras.
- Realizar mediciones de resistencia de aislamiento y resistencia del sistema (puesta a tierra y pararrayo), y reportar resultados
- Analizar los parámetros medidos contra requerimientos de parámetros del sistema que se encuentren dentro de la normativa vigente.
- Validar estado actual para mejoras

Justificación.

El Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui (ISTER) está ubicado en una zona propensa a descargas atmosféricas, según el mapa isoceráunico de Quito, por ello es crucial que el sistema de puesta a tierra y pararrayos existente se encuentre en óptimas condiciones de funcionamiento, con el fin de prevenir riesgos eléctricos o descargas atmosféricas que puedan afectar equipos electrónicos de vital importancia para el aprendizaje de los alumnos del Taller de Mecánica Automotriz y sus instalaciones.

Al realizar un diagnóstico del pararrayo y sistema de puesta a tierra, se obtendrá datos, los cuales sirven para adoptar medidas con respecto a la instalación y su mantenimiento, las normas aplicables y datos reales del funcionamiento, lo que permite realizar futuros análisis del sistema.

Tener un plan de gestión de mantenimiento para el sistema de descargas atmosféricas es una medida fundamental para garantizar su buen funcionamiento, Esto se refleja en una instalación confiable, segura y que cumpla con la normativa necesaria.

CAPÍTULO I

MARCO TEORICO

1.1. Antecedentes

La gestión de mantenimiento para la protección de impactos atmosféricos en las estructuras que utilizan un sistema de pararrayos, comienza con el análisis de los detalles del proyecto, que incluye el nivel isocerámico y las medidas estructurales de tal motivo se evaluarán con un registro de datos y evaluaciones de riesgos para encontrar algunos escenarios, como la pérdida de vidas, la suspensión de servicio y los daños a la propiedad particular y con esos antecedentes, se ponen en práctica estrategias de protección, como determinar la resistividad del suelo de acuerdo a la norma IEE 81, y cumplir con los principios del sistema de puesta a tierra en las normas IEEE 142 e IEE 80. Este desarrollo se ejecuta para analizar las descargas atmosféricas dentro de una estructura protegida, calculando los equivalentes eléctricos de los conductores de malla, las varillas de soldadura de cobre y los conductores horizontales y verticales y de esta manera con los resultados obtenidos analizar si se están cumpliendo con las normativas como la IEC y el IEEE. (Quinatoa et al., 2025)

Respecto a este tema Abril y Azogue (2021) sugieren que en el “Diseño y Modelado del sistema de puestas a tierra y apantallamiento para la Estación Cotopaxi”, el desarrollo se basa en el diagnóstico del SPT existente aplicando los métodos de intersección de curvas y de la pendiente, para determinar el estado de la malla de puesta a tierra y la resistividad del terreno y de ser el caso realizar un nuevo diseño de malla con la interfaz gráfica en Matlab y modelo del suelo con el método gráfico de Sunde, Box-Cox y método matemático. Con el fin de evaluar la función al riesgo definida por la IEC -62305 empleando esta metodología se asignó niveles de protección a cada edificación y es el punto de partida para la aplicación del modelo electro geométrico basado en

esferas rodantes para finalmente localizar puntas captadoras y generar un área de protección contra descargas atmosféricas, empleando el software AutoCAD.

Para garantizar el suministro de energía eléctrica, la seguridad en la operación y la continuidad se exigen un estudio más detallado de los sistemas de puesta a tierra que permitan el crecimiento de las redes eléctricas y el desarrollo de los equipos eléctricos y electrónicos,

Según Guel (2021). Por lo tanto, el diseño de un sistema de puesta a tierra debe cumplir parámetros internacionales como ser segura, confiable y eficiente, mediante el uso de la norma, por ejemplo, la IEEE-80 está relacionada a los materiales a utilizarse (electrodos, conductor, etc.) y la forma de conexión; mientras que la norma IEC-60479: determina la corriente que puede tolerar el cuerpo humano; y la norma IEEE-81: verifica el estado del sistema mediante la medición de la resistividad y su resistencia de puesta a tierra.

Los sistemas de puesta a tierra permiten garantizar la seguridad y protección tanto de personas como equipos e instalaciones eléctricas, evitando descargas. La resistividad del terreno puede variar de acuerdo a las condiciones ambientales como el contenido de humedad y sal, la temperatura y la compactación, el grado de saturación y porosidad, entre otras variables que afectarán el rendimiento de los sistemas de puesta a tierra durante su vida útil. (Guel, 2021)

1.2. Descarga atmosférica

La descarga atmosférica es un fenómeno natural conocido comúnmente como rayo, el cual genera un campo eléctrico, entre la tierra y la nube o entre nubes. Si la descarga atmosférica cae directamente sobre la infraestructura puede existir pérdida del suministro de energía eléctrica, daños de bienes y servicios; o la pérdida de vidas humanas, para mitigar y disminuir estos daños se diseñan sistemas de protección contra descargas, que incluyen dispositivos de protección contra

sobrecargas, cortocircuitos y fugas de corriente, y están compuestos por sistemas de puesta a tierra y protección de sobretensiones, como se representa en la Figura 1.

Figura 1

Descarga atmosférica - rayo



Nota: La Figura 1 muestra una descarga atmosférica que tiene la conducción entre las nubes y la tierra. Descarga atmosférica común en su desarrollo.

Fuente: (Mgi, 2020)

Capacidad de descarga atmosféricas-rayo.

Los datos del fenómeno de la descarga atmosférica, se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1

Generación de rayo

Fenómeno	Causa
Temperatura del aire por rayo	Hasta 33. 000 °C
Efectos térmicos	Incendios, daños en edificaciones o bosques
Canal principal de descarga	El aire
Efecto acústico	Truene (onda sonora por el calentamiento del aire)
Fenómenos asociados	Vientos fuertes, lluvias, tormentas de arena, tormentas de nieve, erupciones volcánicas, incendios forestales, etc.
Frecuencia global	~100 rayos por segundo
Corriente generada por el rayo	Entre 200.000 a 300.000 (A)
Voltaje generado por el rayo	Hasta un aproximado 100 millones de voltios
Daños comunes	Líneas eléctricas, cables telefónicos, equipos electrónicos
Duración general del rayo	Microsegundos
Energía liberada	Cientos de Kilovatios-hora por rayo

Nota: La Tabla 1 describe el fenómeno y causa de la descarga atmosférica.

Fuente: (Los Autores)

Características del sistema de descargas atmosféricas

Los siguientes parámetros se deben tener en cuenta para seleccionar la protección de descargas atmosféricas, ya que es una información importante en el diseño y mantenimiento.

- Estructura a proteger
- Mapa cerámico del sector a implementar el sistema
- Normativa a cumplir
- Altura de la estructura
- Corriente nominal

1.3. Sistema de Protección

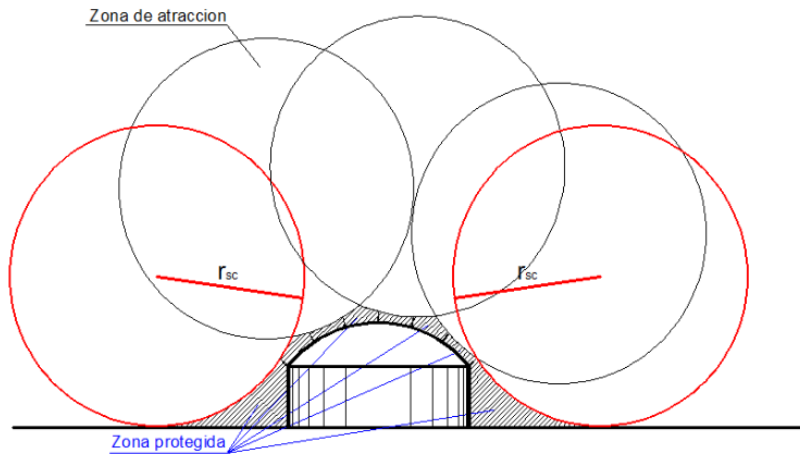
Para proteger la estructura contra descargas atmosféricas se diseñan métodos de protección entre los cuales mantenemos, el método de esfera rodante y ángulo de protección.

Método de la Esfera Rodante

Esta técnica se utiliza para la protección contra rayos y la ubicación óptima de los pararrayos en una estructura. Consiste en imaginar una esfera de un radio específico que se hace rodar sobre la superficie de la estructura. Los puntos donde la esfera toca la estructura representan áreas vulnerables a impactos de rayos, como se representa en la Figura 2.

Figura 2

Método de esfera rodante



Nota: La Figura 2 muestra el campo de protección eléctrica del método de esfera rodante.

Fuente: (Martínez J. , 2020)

Para lo cual se aplica la siguiente fórmula.

$$R = \frac{10}{\sqrt[3]{I_k A}} \quad (1)$$

En donde:

R = radio esfera en metros

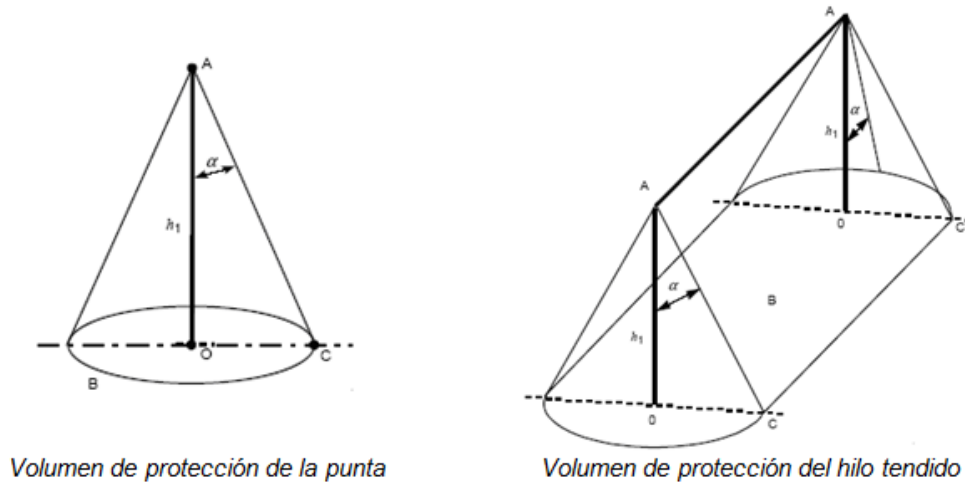
I_{kA} = corriente del rayo en kilómetros

Método del Ángulo de Protección

Se utilizada en el diseño de sistemas de protección contra rayos para determinar el área que una punta captadora puede proteger eficazmente, se basa en la idea de que una varilla captadora, al recibir un impacto de rayo, crea un volumen cónico virtual que protege la estructura ubicada dentro de ese cono, como se representa en la Figura 3.

Figura 3

Ángulo de protección.



Nota: La Figura 3 muestra el volumen de protección mediante una punta que tiene la forma de un cono recto.

Fuente: (Amores Sánchez, 2020)

- Fórmula del ángulo de protección o esfera rodante del pararrayo.

$$Rp = * \sqrt{2 rh - h^2 + (2r + \Delta)} \quad (2)$$

En donde:

Rp: Radio de protección

r: Radio de esfera

h: Altura del punto de captación (pararrayo)

Δ : Factor de corrección.

1.4. Fuente de descarga atmosférica

Una fuente de descarga hace referencia a lugares o puntos dentro de una estructura que presenta mayor incidencia de ser impactado con un rayo. Las zonas mencionadas se localizan comúnmente en lugares de gran altura, afilados o zonas prominentes de edificios, como techos de estructuras metálicas, antenas, torres, rascacielos, montañas, árboles de gran altura y mástiles. Por la concentración del campo eléctrico existe la posibilidad de que un rayo se impacte, el mismo que se intensifica en lugares altos, estructuras con geometría cónica, que generan una trayectoria eficaz para el impacto del rayo. Las siguientes ecuaciones son indispensables para el análisis de los efectos del rayo sobre las instalaciones eléctricas.

Fórmula de la corriente del rayo:

Esta ecuación determina el análisis de la corriente de descarga del rayo.

$$I(t) = I_{Pico} (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad (3)$$

En donde:

$I(t)$: corriente en el tiempo (A)

I_{pico} : corriente máxima

α, β : constantes de caída y ascenso

t : tiempo en segundos

Fórmula de voltaje inducido por una descarga:

Esta ecuación calcula el voltaje inducido y las corrientes que puede generar en los conductores y equipos y de esa manera diseñar protecciones adecuadas para el sistema.

$$v = L \cdot \frac{dl}{dt} \quad (4)$$

En donde:

V: voltaje inducido

L: inductancia por unidad de longitud de la línea

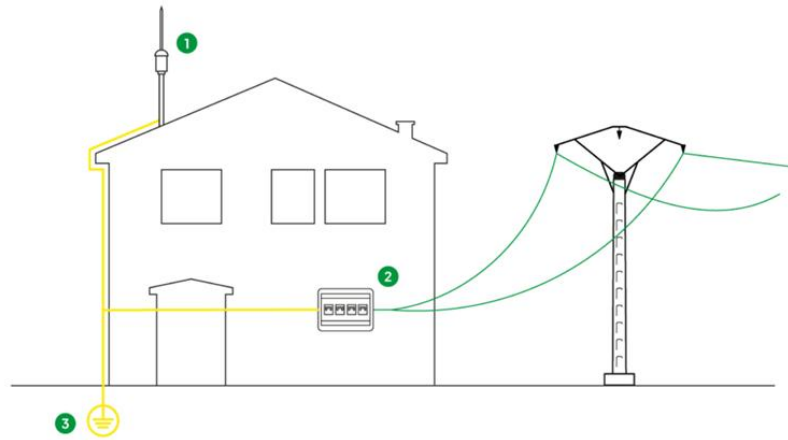
dt/dl: tasa de cambio de corriente (A/s)

1.5. Pararrayo

Es un dispositivo que se emplea como un mecanismo de seguridad para proteger a las construcciones y las personas de las consecuencias de la electricidad que se produce en las nubes, estos dispositivos están conformados de varillas de hierro que terminan en punta y están unidos mediante conductores y están vinculadas a la tierra. Los pararrayos cubren una distancia de 200 metros de diámetro y es necesario que se instale en torres o columnas aproximadamente de una altura de 15 metros, como se representa en la Figura 4.

Figura 4

Diseño de protección contra descargas atmosféricas.



Nota: En la Figura 4 se muestra los tipos de protección para descargas atmosféricas que debe tener una estructura como: pararrayo (1), tablero eléctrico (2) y puesta a tierra (3).

Fuente: (Martínez, 2025)

Tipos de Pararrayos

Los pararrayos se dividen en dos grupos: pasivos o punta simple y activos o ionizantes. La elección del tipo adecuado depende directamente del estudio previo realizado para determinar la mejor opción.

- **Pararrayos pasivo o punta simple:** No tiene ninguna acción específica durante la tormenta eléctrica solo representa un punto de descarga atmosférica, como se representa en la Figura 5.

Figura 5

Pararrayo pasivo.



Nota: Forma de un pararrayo de punta simple.

Fuente: (Ingescos, 2025)

- **Pararrayos de punta ionizante:** Es un tipo de pararrayos que utiliza un sistema de ionización que mejora su capacidad de captación de rayos. A diferencia de los pararrayos convencionales, que solo ofrecen un punto de impacto para la descarga atmosférica (rayo), los pararrayos ionizantes generan una ionización adicional que permite atraer al rayo con mayor anticipación y eficacia.

1.5.1. Punta Franklin del pararrayo.

La punta Franklin, se utiliza como elemento captador y/o también forma parte de sistema de protección, se fabrican en cobre, acero inoxidable o aluminio, como se representa en la Figura 6.

Figura 6

Pararrayos de punta franklin



Nota: Pararrayos de punta franklin de 4 puntas.

Fuente: (Ingescos, 2025)

1.5.1.1. Capacidad punta Franklin del pararrayo

Se denominan punta captadora simple, son pasivos, simples y de costo económico bajo, se debe instalar a una altura mínima de 2 m sobre la estructura que se va a proteger y se conectan como mínimo a dos puestas a tierra. Mediante este sistema se logra evitar el daño a las personas y desperfectos en los circuitos eléctricos. Los modelos varían con los pararrayos de tipo lanza que poseen 4,5 o 6 puntas, bayonetas de una sola punta o tetra puntales. Además, se pueden incluir dentro de un sistema de mallas conductoras o mediante jaulas de Faraday.

Los beneficios de estas puntas hacen referencia a la seguridad al momento de que las descargas atmosféricas se capturen por la red de puntas que se ha instalado, así la energía se va a dirigir a través de la red de conductores instalados para puesta tierra. Para la realización de un diseño con las puntas Franklin se deben aplicar la normativa descrita en la Tabla 2.

Tabla 2.*Normativa para el diseño de la punta Franklin del pararrayo*

Norma	Organismo	Nombre	Ámbito	Detalle
IEC 62305:2013	Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)	Protección contra descargas atmosféricas	Internacional	Normativa técnica que establece principios y métodos de evaluación del riesgo y diseño de sistemas de protección externa e interna contra rayos
NFPA 780:2024	National fire Protection Association (EE UU.)	Standard for the Installation of Lightning Protection Systems	Estados Unidos y América Latina	Proporciona criterios de instalación de sistemas de protección contra rayos en estructuras, equipos e instalaciones. Detalla componentes, materiales y métodos de instalación.
NEC Ecuador (CEE)	Ministerio de Energía y Minas de Ecuador / ARCONEL	Código Eléctrico Ecuatoriano (basado parcialmente en NEC y normas internacionales)	Nacional (Ecuador)	Incluye requisitos para la protección contra recargas atmosféricas basándose en normas internacionales como IEC y NFPA, Es de cumplimiento Obligatorio en instalaciones eléctricas.

Nota: La Tabla 2 describe la normativa aplicable para el diseño de punta franklin de pararrayo.

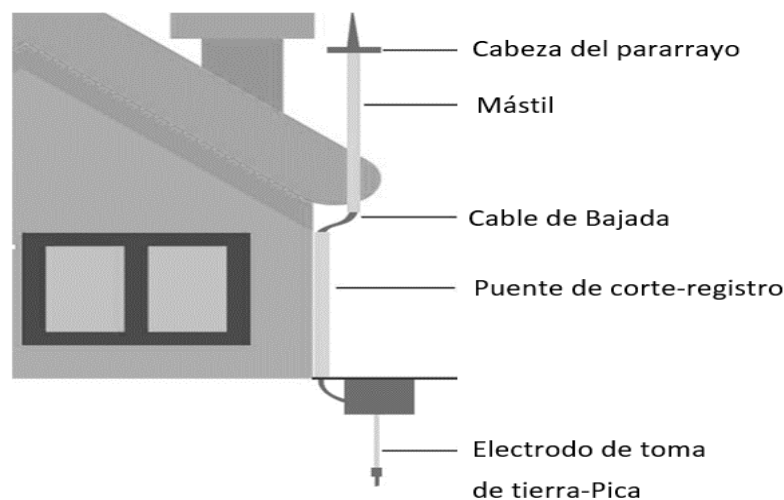
Fuente: Autores

1.6. Diseño de captación de rayos

El sistema de captación se compone de elementos de tipo metálicos denominados como pararrayos sean tipo Franklin, conductores de acoplamiento o mediante cables colgantes que bloquean intencionalmente al rayo. El sistema de protección en el exterior se diseña mediante puntas tipo Franklin, sistema de bajante y puesta a tierra, como se representa en la Figura 7. Es importante que el diseño se base de acuerdo con las normativas internacionales tales como IEC 62305, NFPA 780 y junto con la normativa NEC perteneciente a Ecuador.

Figura 7

Diseño de captación de rayos



Nota: Sistema de captación de rayos domiciliaria.

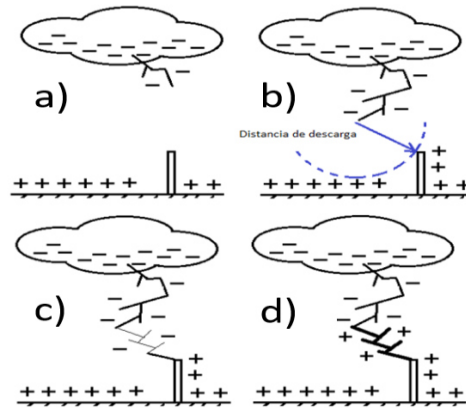
Fuente: (Lasser, 2021)

1.6.1. Características de diseño de recepción de descarga atmosférica

Las características sobre el diseño de recepción de descargas atmosféricas son las siguientes y se representa en la Figura 8.

Figura 8

Sistema de recepción de descarga atmosférica



Nota: La imagen describe la trayectoria del rayo: (a) inicio del rayo, (b) propagación distancia de descarga, (c) establecimiento de ruta completa, (d) corriente de retorno.

Fuente: (Torrez Ch, 2020)

- Se producen a consecuencia de la acumulación de energía eléctrica en las nubes.
- Alcanzan corrientes de hasta 200 KA.
- Se debe identificar las zonas más predecibles para el impacto del rayo.
- Se debe ubicar el captador 1,8 a 2 m por arriba del punto más alto de la infraestructura.
- Se debe colocar 6 m de altura en edificios industriales.
- Se debe utilizar múltiples puntas captadoras.
- Es importante la geometría y la disposición tridimensional del sistema captador.
- Se debe utilizar materiales como el cobre electrolítico o acero galvanizado en los materiales captadores y conductores de bajada, con secciones mínimas de 50 m².

1.6.2. Componentes principales

Los principales componentes para el diseño de captación de rayos son los siguientes:

- **Sistema de captación:** El sistema de la punta captadora en los pararrayos es de gran importancia para lograr atraer y conducir las descargas de electricidad de forma controlada. Se evidencian entre los tipos de puntas captadoras las puntas Franklin y las puntas con dispositivo de cebado (PDC). (Aguilera Balseca & Muños Hernandez, 2024)
- **Cabezal captador:** Este compuesto por un cuerpo metálico (dos electrodos de aluminio) y su objetivo es atraer hacia sí la descarga del rayo. (Todoluzygaz, 2022)
- **Pieza de adaptación:** Se encarga de la conexión del dispositivo de captación al mástil, dando como resultado la unión entre el cabezal con la red de conducción. Se utiliza cable de 50 mm² o; una varilla de 10 mm de diámetro. Se adapta con una pletina de 30x2 mm.
- **Mástil:** Se trata de una estructura clave para la instalación de diversos tipos de pararrayos, ya que contribuye a brindar protección y a prevenir posibles daños tanto al edificio como a las personas que se encuentran en su interior. Además, cumple una función de gran importancia frente a las descargas eléctricas atmosféricas.
- **Sistema de bajante:** Esta estructura resulta fundamental para conducir de forma segura y controlada la energía del rayo hacia el suelo. El sistema incluye componentes esenciales como anclajes y mástiles que elevan el pararrayos, soportes que guían el recorrido del conductor, grapas para fijar la bajante y conductores que dirigen la descarga eléctrica. Su objetivo principal es disipar la carga eléctrica, protegiendo tanto a las edificaciones como a las personas, a través del uso del pararrayos.
- **Sistema de puesta a tierra:** Hace referencia a una serie de elementos cruciales destinados a disminuir la corriente de un rayo de manera muy segura. Son elementos como soldaduras exotérmicas, varillas, cemento conductivo o cobre desnudo. Su principal función es

proporcionar una zona segura para la descarga eléctrica que se genere con el rayo, logrando minimizar el riesgo a estructuras y a la población.

- **Contador de descargas:** También se conoce como contador de rayos, este es un dispositivo electrónico importante en sistemas de protección atmosférica. Este dispositivo tiene la función de detectar los impactos de rayos en edificaciones o instalaciones, lo que permite un control inmediato de la situación. Es fundamental realizar un mantenimiento adecuado para garantizar la fiabilidad y precisión de su funcionamiento.

1.7. Malla puesta a tierra

La malla puesta tierra es un sistema de conexión al suelo diseñado para disipar corrientes eléctricas de manera segura y proteger a personas, estructuras y equipos de posibles descargas eléctricas. Se compone de conductores entrelazados entre sí, generalmente de cobre o acero galvanizado, que forman una red interconectada bajo la superficie. Su función principal es proporcionar un camino de baja resistividad para la corriente de falla, evitando daños y reduciendo riesgos de electrocución. (KLK, 2025)

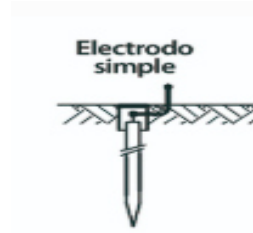
Tipo de mallas utilizadas

Para elegir el tipo de malla de puesta a tierra adecuado, es crucial considerar factores como la resistividad del terreno, la corriente de falla esperada, y el tipo de instalación. Se deben evaluar las características del suelo, calcular la corriente máxima que circulará y determinar el tiempo de respuesta de las protecciones. Finalmente, es importante investigar el tipo de sistema y las cargas involucradas para asegurar una selección correcta. Existen diferentes tipos de malla.

- **Electrodo Simple:** Este sistema consta de una varilla enterrada en el suelo que sirve para disipar las corrientes no deseadas en un sistema eléctrico, representado en la Figura 9.

Figura 9

Sistema de puesta a tierra en electrodo simple



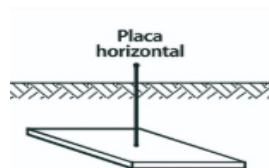
Nota: Tipo de electrodo simple.

Fuente: (Farina, 2025)

- **Placa horizontal:** El sistema de puesta a tierra placa horizontal está compuesto de una placa de acero galvanizado o cobre que debe ser enterrada de manera horizontal como se representa en la Figura 10.

Figura 10

Sistema de puesta a tierra en placa horizontal



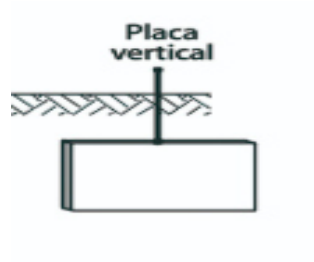
Nota: Tipo de placa horizontal.

Fuente: (Farina, 2025)

- **Placa vertical:** Esta placa de acero galvanizado o cobre se debe instalar de manera vertical en el suelo para garantizar una mayor superficie de descarga, como se representa en la Figura 11.

Figura 11

Sistema de puesta a tierra en placa vertical



Nota: Tipo placa vertical.

Fuente: (Farina, 2025)

- **Triángulo:** El sistema de puesta a tierra en triángulo consta de tres varillas enterradas de manera vertical y un conductor que los une, bien sea mediante soldadura exotérmica o conectores de compresión, cable, varilla, como se representa en la Figura 12.

Figura 12

Sistema de puesta a tierra en triangulo



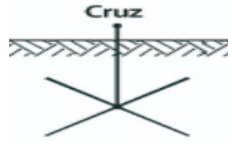
Nota: Puesta a tierra en triángulo.

Fuente: (Farina, 2025)

- **Cruz:** El sistema de puesta a tierra en cruz consta de cuatro conductores dispuestos a 90 grados y con varillas enterradas al final de cada conductor, como se representa en la Figura 13.

Figura 13

Sistema de puesta a tierra en cruz



Nota: Puesta a tierra en cruz.

Fuente: (Farina, 2025)

- **Pata de ganso:** Es un sistema radial que tiene un punto de anclaje central y consta de tres o más conductores dispuestos en estrella; en sus extremos pueden estar conectados a electrodos o solo enterrados, como se representa en la Figura 14.

Figura 14

Sistema de puesta a tierra en pata de ganso



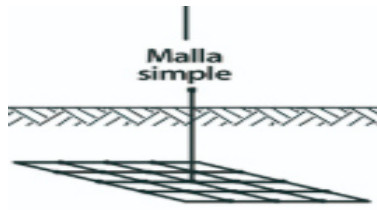
Nota: Puesta a tierra en pata de ganso.

Fuente: (Farina, 2025)

- **Malla simple;** Este sistema tiene una disposición en cuadro o rectángulo con conductores entrelazados entre sí como una cuadrícula, no necesariamente lleva electrodos o puede llevar algunos instalados de forma estratégica, como se representa en la Figura 15.

Figura 15

Sistema de puesta a tierra en malla simple



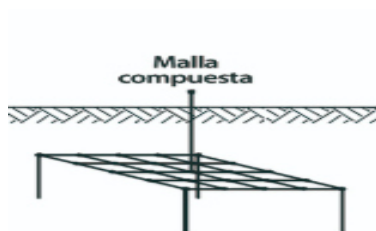
Nota: Puesta a tierra en malla simple.

Fuente: (Farina, 2025)

- **Malla compuesta:** La malla compuesta tiene una disposición de conductores horizontales, electrodos o placas verticales. La disposición de los conductores puede ir en forma radial, anillo o pata de ganso, como se representa en la Figura 16.

Figura 16

Sistema de puesta a tierra en malla compuesta



Nota: Puesta a tierra en malla compuesta.

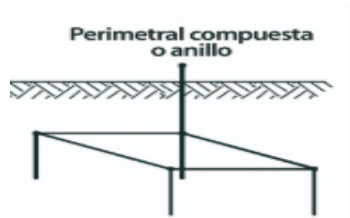
Fuente: (Farina, 2025)

- **Malla Perimetral compuesta o Anillo:** El sistema de malla puesta a tierra perimetral compuesto no es otra cosa que el conductor rodeando el perímetro de la estructura a

proteger; cuenta con electrodos enterrados verticalmente para mejorar su eficiencia, unidos mediante soldadura exotérmica o conectores de compresión, cable, varilla como se representa en la Figura 17.

Figura 17

Sistema de puesta a tierra en malla compuesta o Anillo



Nota: Puesta a tierra en malla anillo.

Fuente: (Farina, 2025)

Análisis de puestas a tierra

El diseño seguro de sistemas de puestas a tierra y determinar, las protecciones contra fallas eléctricas, rayos y descargas estáticas con eficiencia, se requiere las siguientes formulas

- **Formula básica para un electrodo vertical:** Esta ecuación determina la resistencia de la puesta a tierra de una varilla de puesta a tierra única.

$$R_g = \frac{r}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{d} \right) - 1 \right] \quad (5)$$

Donde se considera:

R_g = resistencia de puesta a tierra (ohmios, Ω)

ρ = resistividad del suelo ($\Omega \cdot m$)

L = longitud del electrodo (m)

d = diámetro del electrodo (m)

- **Fórmula Para varios electrodos (n varillas):** Esta ecuación determina la resistencia total segura de la puesta a tierra y eficiencia al minimizar costos de implementación.

$$Rn = \frac{Rg}{n \cdot Kc} \quad (6)$$

Donde se considera:

Rg = resistencia puesta a tierra (Ω)

ρ = resistividad del suelo ($\Omega \cdot m$)

L = longitud del electrodo en m

d = diámetro del electrodo en m

- **Formula Electrodo horizontal (cinta o conductor enterrado):** Esta ecuación determina la dispersión superficial, en terrenos no profundos o rocosos.

$$Rg = \frac{r}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{2L}{w} \right) 0,5 \right] \quad (7)$$

Donde se considera:

Rg : resistencia electrodo horizontal.

w = ancho del conductor (o diámetro si es cable).

L : longitud del cable enterrado.

r : Resistividad del suelo.

1.7.1. Geometría sobre la malla

Los límites de las puestas a tierra dependen de las condiciones físicas y financieras del sistema, Por esa razón se detallan las siguientes características:

Las distancias comunes entre conductores (D) se encuentran dentro del rango:

$$15\text{m} > D > 3\text{m} \quad (8)$$

La profundidad (h) se establece en el nivel:

$$1.5\text{m} > h \geq 3\text{M} \quad (9)$$

La selección de conductores (ACM) está en el rango:

$$\text{Dato técnico} \quad 500 \text{ MCM} > \text{ACM} \geq 2/0 \text{ AWG} \quad (10)$$

La ubicación de la malla (A) es el factor significativo para determinar la resistencia de la malla (R_g).

1.8. Conductores eléctricos

Los conductores eléctricos son hilos metálicos fabricados de material de cobre o aluminio y se utilizan para conducir la corriente eléctrica, los mismos que se puede encontrar desnudos o con una cubierta protectora aislante contra temperaturas elevadas y humedad. Se utilizan generalmente en instalaciones eléctricas, en instalación eléctrica automotriz y en fabricación de bobinados.

- **Fórmula para cálculo de calibre de conductor:** La elevación de la temperatura temporal del conductor, por la corriente de falla que pasa a través de él, se calcula con la siguiente ecuación:

$$AMC = I_f \frac{197.4}{\frac{\sqrt{TCAP}}{t_c \alpha_r \rho_r} * \ln \left(\frac{k_{a+T_m}}{k_{a+T_a}} \right)} \quad (11)$$

Donde se considera:

AMC = mínima área del conductor.

I_f = Intensidad de falla

T_c = duración del tiempo de falla

TC AP = capacidad térmica

K_a = Coeficiente térmico de resistividad

T_m = Máxima temperatura admisible

T_a = Temperatura del entorno

α_r = Temperatura de referencia a Coeficiente térmico de resistividad

ρ_r = resistividad del conductor a temperatura de referencia

Constante = 197.4

Formula simplificada:

$$AMCM = I_f \cdot k_f \cdot \sqrt{t_c} \quad (12)$$

El calibre del conductor se debe seleccionar con las siguientes características:

- Poseer una alta conductividad para evitar caídas de tensión.
- Soportar la tensión mecánica y la resistencia a la corrosión, durante el tiempo de vida útil de la instalación eléctrica.
- Temperatura de fusión del conductor.

1.9. Resistividad del suelo y su medición

Esta propiedad permite conocer la capacidad del suelo para conducir la corriente eléctrica, se expresa en $\Omega \cdot m$ (óhm-metro), el cual representa la resistencia teórica de una muestra de suelo en forma cilíndrica cuyas medidas son: 1 m^2 de sección y de 1 m de longitud.

La resistividad es directamente proporcional a la resistencia del suelo, si una de estas propiedades sube o baja su valor la otra lo hará de igual manera, por lo cual depende del tipo de la humedad y temperatura. El suelo siente mayor impacto de temperatura y humedad en sus primeras capas por ello se recomienda que la puesta a tierra se la realice a mayor profundidad para no exponer al sistema a los cambios climáticos.

La resistencia eléctrica del suelo es un parámetro clave para el sistema de protección atmosférica (puesta a tierra y pararrayos), para lo cual existen algunos métodos para determinarla.

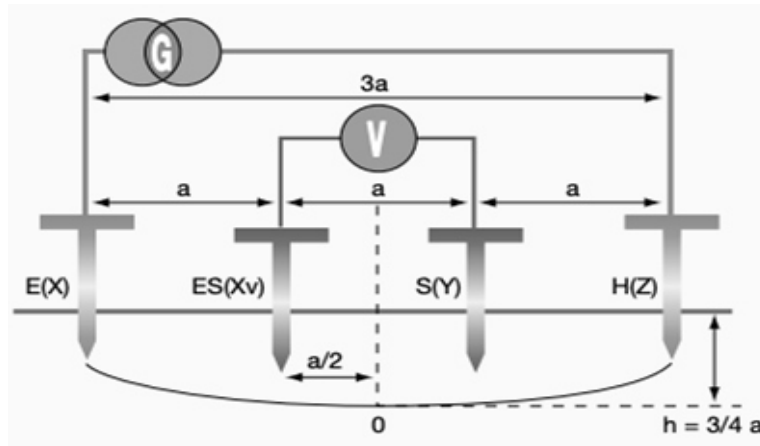
Método de Wenner

El método de Wenner o de las 4 picas es la técnica más utilizada al momento de determinar la resistividad del suelo.

Según (Aguilera Balseca & Muños Hernandez, 2024) se inserta cuatro electrodos en línea recta en el suelo y a igual distancia entre ellos. Entre los dos electrodos exteriores (E y H), se inyecta una corriente de medida I mediante un generador. Entre los dos electrodos centrales (S y ES), se mide el potencial ΔV gracias a un voltímetro, como se representa en la Figura 18.

Figura 18

Método de Wenner



Nota: En la Figura 18 se detalla el método Wenner, donde los términos X, Xv, Y, Z corresponden a la antigua denominación utilizada respectivamente para los electrodos E, Es, S y H Puesta a tierra en malla anillo.

Fuente: (Chauvin, 2020)

El instrumento de medida utilizado es un ohmiómetro de tierra clásico que permite la inyección de una corriente y la medida de ΔV . El valor de la resistencia R leída en el ohmiómetro permite calcular la resistividad mediante la siguiente fórmula de cálculo simplificada:

$$\rho_w = 2 \pi a R \quad (13)$$

Donde:

ρ = resistividad en $\Omega \cdot m$ en el punto situado debajo del punto O, a una profundidad de $h = 3a/4$

a= base de medida en m

R= Valor (en Ω) de la resistencia leída en el ohmiómetro de tierra

1.10. Resistencia de la puesta a tierra y su medición

Se denomina como resistencia de la puesta a tierra a la oposición que encuentra la corriente eléctrica al fluir hacia la tierra a través de un sistema de puesta a tierra (malla). Un valor bajo de resistencia es crucial para la seguridad eléctrica, ya que permite que las corrientes de falla se disipen rápidamente y protejan a las personas y equipos. Un valor demasiado alto podría impedir la correcta dispersión de la corriente, aumentando el riesgo de descargas eléctricas, daños a los quipos e incluso incendios. (KLK, 2025)

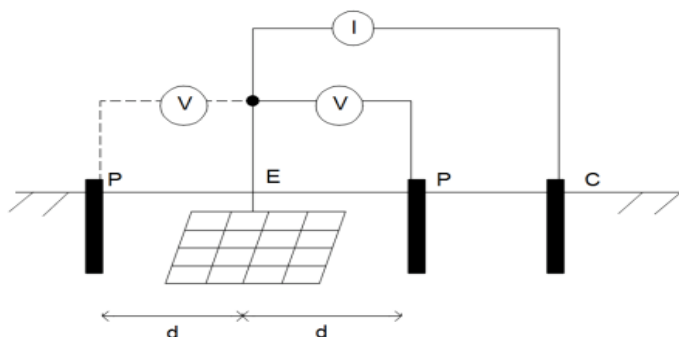
Método de caída de potencial

El método de comprobación de caída de potencial es conocido también como el método de las dos picas, el método de los 3 puntos o el método de 62% y se utiliza para medir la resistencia total de un sistema de puesta a tierra.

El método consiste en inyectar una corriente entre el electrodo o sistema de puesta a tierra (E) a medir y un electrodo de corriente auxiliar (C), mientras se mide la caída de tensión entre la puesta a tierra bajo prueba y un electrodo de potencial auxiliar (P), como se representa en la Figura 19.

Figura 19

Método de caída de potencial



Nota: medición de la caída de potencial.

Fuente: (Epm, 2019)

Con el propósito de minimizar la influencia entre electrodos, el electrodo de corriente y la malla de puesta a tierra deben estar separados una distancia mínima de 6,3 veces la mayor dimensión de la puesta a tierra bajo estudio. No mantener una distancia adecuada entre los electrodos puede generar inconvenientes por los gradientes de potencial. El electrodo de potencial y el electrodo de corriente se deben ubicar en la misma dirección u opuestas como lo ilustra la Figura 19, tomando como punto de referencia el sistema de puesta que se mide. En la práctica, la distancia de ubicación “d” para el electrodo de potencial se elige aproximadamente al 62% de la distancia del electrodo de corriente. Esta distancia está basada en la posición teóricamente correcta (61.8%) para medir la resistencia exacta del electrodo para un suelo de resistividad homogéneo.

El electrodo de potencial es crítico en la medición de la resistencia de una puesta a tierra, por lo tanto, su localización debe ser libre de cualquier influencia del sistema de puesta tierra bajo medida y del electrodo auxiliar de corriente. Se ubica el electrodo de potencial en diferentes puntos entre la puesta a tierra y el electrodo de corriente, para obtener varias lecturas de la resistencia al movimiento, de esta manera se determina la zona de influencia de los electrodos. (1Library, 2021)

1.11. Medición de resistencia de aislamiento

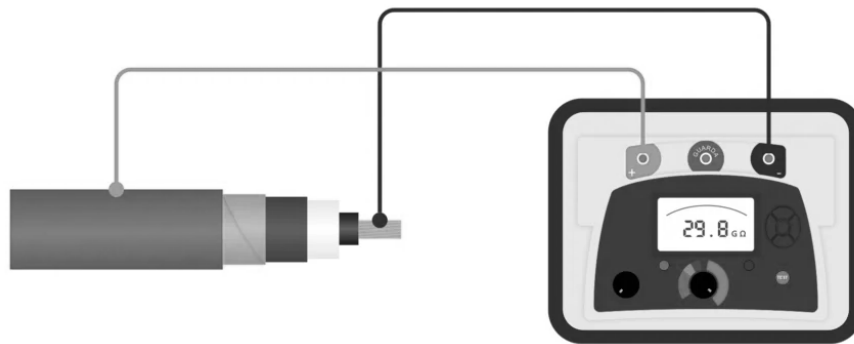
Todo conductor eléctrico de una instalación, ya sea en un motor, generador, cable, interruptor, transformador o cualquier otra cosa, está cubierto con algún tipo de aislamiento eléctrico el cual deber resistir la corriente y mantenerla en su camino a lo largo del conductor. E aislamiento se degrada a lo largo del tiempo debido a las diferentes solicitaciones a las cuales es sometido durante su vida útil normal. (Megger, 2020)

La degradación del aislamiento se da en solicitaciones eléctricas (sobrevoltajes y subvoltajes), Solicitaciones mecánicas (golpear el cable, la vibración), ataque químico, solicitaciones térmicas (climas excesivamente calurosos o fríos ocasionara una sobre expansión o

sobre contracción del aislamiento que puede producir grietas y fallas) y la contaminación ambiental. Para determinar el valor de la resistencia de aislamiento se utiliza un instrumento llamado megóhmetro como en la Figura 20.

Figura 20

Megóhmetro



Nota: Esquema de medición de resistencia de aislamiento en conductor eléctrico.

Fuente: (Moreles, 2023)

Índice de polarización (PI)

Es una medida para evaluar la calidad del aislamiento en equipos eléctricos, especialmente en motores y generadores. Un valor de IP alto (generalmente mayor a 2) indica un buen estado del aislamiento, mientras que un valor bajo puede sugerir humedad, contaminación o deterioro del aislamiento. (Chauvin, 2020)

El PI Se obtiene mediante la siguiente fórmula

$$PI = \frac{R \text{ aislamiento a 10 minutos}}{R \text{ aislamiento a 1 minuto}} \quad (14)$$

Tabla 3.*Condición del aislamiento*

Condición	Índice de Polaridad PI
Peligroso	$PI < 1$
Dudoso	$1 < PI < 2$
Bueno	$2 < PI < 4$
Excelente	$PI > 4$

Nota: la Tabla 3 refleja los valores para identificar la condición del aislamiento.

Fuente: (IEEE 43-2000)

Relación de absorción dieléctrica (DAR)

Es una medida utilizada para evaluar la calidad del aislamiento en equipos eléctricos, especialmente en motores y generadores, se obtiene con la siguiente formula

$$DAR = \frac{R \text{ aislamiento a 60 segundos}}{R \text{ aislamiento a 30 segundos}} \quad (15)$$

Tabla 4.*Condición de estado del aislamiento*

Condición de aislamiento	Valor de DAR
Insuficiente	$DAR < 1,25$
OK	$1,25 < DAR < 1,6$
Excelente	$DAR > 1,6$

Nota: la Tabla 4 refleja los valores del estado del aislamiento

Fuente: (IEEE 43-2000)

Método de la prueba de descarga dieléctrica (DD)

Según Mejía et al, (2020). Mediante la prueba DD se puede identificar el exceso de corriente de descarga que se genera en la capa o una de las capas (aislante es multicapas) está dañada o contaminada, defecto que puede pasar desapercibido en las pruebas puntuales o pruebas de tipo PI y DAR. La prueba se debe realizar a una temperatura estándar ya que este método esta relacionado con de la temperatura.

La corriente de descarga será superior para una tensión de ensayo y una capacidad dadas, si una de las capas de aislamiento falla, se determina con la siguiente ecuación.

$$DD = \frac{\text{Corriente a 1 minuto}}{\text{Tensión de ensayo} \times \text{Capacidad}} \quad (16)$$

El resultado se interpreta en la Tabla 5.

Tabla 5.

Calidad del aislamiento DD

DD	Calidad
>7	Mala
4 a 7	Mediocre
2 a 4	A vigilar
< 2	Buena

Nota: la Tabla 5 refleja los valores DD.

Fuente: (IEEE 43-2000)

1.12. Normativas aplicadas al sistema de descargas atmosféricas

- **Norma IEC 62305-1:** Se encarga de proporcionar principios generales que se deben seguir para la implementación de un sistema de protección contra el rayo, incluidas sus instalaciones y personas.
- **Norma IEC 62305-2:** Se aplica para la evaluación del riesgo para una estructura por los relámpagos de tierra. Su principal objetivo es proporcionar un procedimiento eficaz para la evaluación del riesgo antes mencionado. Permite seleccionar las medidas de protección adecuadas que deben adaptarse para la reducción del riesgo hasta el límite tolerable o debajo del mismo.
- **Norma IEC 62305-3:** Proporciona los requisitos para la protección de una estructura contra daños físicos, mediante un sistema de protección contra el rayo y contra lesiones a seres vivos debido a tensiones de contacto.
- **Norma IEC 62305-4:** Información sobre el diseño, instalación, inspección, mantenimiento y pruebas de protección de sistemas eléctricos y electrónicos, reduciendo el riesgo de fallos permanentes debido al impulso electromagnético del rayo.
- **Norma IEC 62561-5:** Requisitos y ensayos para las carcasas de inspección de electrodos de tierra y para los precintos de electrodos de tierra. Se pueden utilizar también en atmosferas peligrosas.
- **Norma IEC 62561-6:** Requisitos para dispositivos destinados a contar el número de impactos de rayo en función de la corriente que circula por un conductor. Requisitos adicionales para atmosferas peligrosas.
- **Norma IEC 62561-7:** Requisitos para los compuestos de mejora de la puesta a tierra que producen una baja resistencia de un sistema de puesta a tierra.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación aplicado es **Cuantitativo**, por que busca analizar un problema, mediante la verificación del estado operativo del sistema de protección eléctrica, debido a que se realiza el registro numérico y comparación de datos técnicos obtenidos, mediante mediciones eléctricas.

El diseño de investigación esta basa en el análisis comparativo de los resultados obtenidos y con los resultados de construcción del sistema contra descargas atmosféricas.

2.2 Estado actual de la instalación

Se detalla los componentes y características del sistema de protección atmosférica existente compuesto por un pararrayos y sistema de puesta a tierra.

2.2.1 Elementos del sistema de protección

El sistema de protección de descargas atmosféricas del Instituto Tecnológico Universitario Rumiñahui se encuentra ubicado en la cubierta del taller de mecánica automotriz, compuesto por un pararrayo y puesta a tierra, como se observa en la Figura 21.

Figura 21

Sistema de protección atmosférica del ISTER



Nota: la Figura 21 muestra la ubicación del sistema de protección atmosférica existente.

Fuente: (los Autores)

2.2.2 Punta captadora Franklin

En la Figura 22, se representa el pararrayo punta Franklin de 4 puntas con un diámetro 20 mm y las características principales se detallan en la Tabla 6.

Figura 22

Punta captadora tipo Franklin



Nota: la Figura 22 muestra el Pararrayos de punta Franklin de 4 puntas, existente en el ISTER.

Fuente: (los Autores)

Tabla 6*Características técnicas del Pararrayo de punta Franklin*

Características	
Tipo	ISG 10 S
Tensión nominal soportada	350 V
Tensión nominal de descarga por impulso	1000 V
Corriente de impulso del rayo (10/350)	100 kA
Corriente de descarga (2/80)	200 kA
Frecuencia de alimentación (50Hz)	$\leq 400V$
Rango de temperatura	-40 C + 80 C
Longitud de recinto	123 mm
Diámetro del recinto	40 mm
Capacitancia 1MHz	≤ 10 pF
Certificación	CE(LVD,EMC)
Estándares de prueba	ICE 62561-3; EN 62561 -3; GB/T 33588.3
Grado de protección	IP67

Nota: la Tabla 6, detalla las características técnicas de la punta captadora Franklin.

Fuente:(INGESCO® PDC.E, 2021)

2.2.3 Barra de conexión del sistema de puesta a tierra

La barra de equipotenciación de cobre tipo C11000, se representa en la Figura 23 y sus características principales en la Tabla 7.

Figura 23

Conexión del sistema de puesta a tierra en la Barra de equipotenciación



Nota: la Figura 23 muestra la barra de conexión del sistema a tierra, instalado.

Fuente: (los Autores)

Tabla 7

Características técnicas del Barra de equipotenciación

Características Barra de Equipotenciación cobre tipo C11000	
Material	Cobre
Longitud	
Función	Conductividad
Espesor	6 mm
Capacidad de conducción (A)	AC (60 Hz): entre 529 A / 899 A DC: entre 539 A y 917 A
Condición normal de temperatura	ambiente 30 °C y aumento de temperatura de 50 °C

Nota: la Tabla 7 detalla información técnica de la barra implementada.

Fuente: (los Autores)

2.2.4 Cable de la baja del pararrayo

El tipo de cable de la bajada del pararrayo, se representa en la Figura 24 y sus principales características se representan en la Tabla 8.

Figura 24

Cable TTU 2/0 CU AWG 2000V 75°C



Nota: cable de conducción para la descarga atmosférica existente y su composición interna.

Fuente: (los Autores)

Tabla 8

Datos técnicos de Conductor

Cable tipo TTU para 2 KV 2/0 AWG 75 °C	
Aislamiento	PE 75 °C. PVC60 °C
Segmento	Cable de potencia para baja tensión
Norma	ASTM B3, B8, UL 83, ICE S-95- 658
Chaqueta exterior	revestido con una chaqueta de policloruro de vinilo (PVC)
Chaqueta interior	aislado con una capa suave de termoplástico polietileno (PE) resistente al calor y la humedad
Tensión de servicio	2000 V aproximadamente 175 amperios
Tipo	Cobre de temple suave

Nota: la Tabla 8 detalla las características técnicas del cable AWG 2/0 TTU.

Fuente: (INGESCO® PDC.E, 2021)

2.2.5 Bobina de choque

El protector sobre tensiones aislado Spark Gap 100 KA-50 KA, o conocido como bobina de choque se representa en la Figura 25 y principales características se describen en la Tabla 9.

Figura 25

Bobina de choque



Nota: la Figura 25 indica la bobina de choque existente que evita cargas de retorno.

Fuente: (los Autores)

Tabla 9

Características de la bobina de choque

Marca	Telebahn
Corriente máxima	200 KA
Tensión nominal	350V
Uso	Protección contra rayos / Industrial
Aplicación	Dispositivo de puesta a tierra para Unión equipotencial
I max (8 / 20 us) 200 KA	Corriente máxima de descarga del rayo, el equipo soporta hasta una corriente 200.000 (A) bajo esta la forma de onda (8/20us) que es una prueba común para descargadores.
imp (10/350 us) 100 KA	Corriente de impulso común del rayo, el equipo soporta hasta 100.000 (A), bajo esta fórmula de onda (10/350us) que simula el impacto directo del rayo.
Grado Impermeable	(IP67) Dispositivo resistente al polvo y al agua

Nota: la Tabla 9 detalla las características de la bobina de choque existente.

Fuente: (Telebahn, 2025)

2.2.6 Contador de eventos atmosféricos

El contador de eventos atmosféricos, se representa en la Figura 26 y sus características principales se representan en la Tabla 10.

Figura 26

Contador de eventos atmosféricos



Nota: Registra los eventos de la descarga atmosférica (rayo)

Fuente: (los Autores)

Tabla 10

Características del contador de eventos atmosfericos

Características
Capacidad de registro (999 impulsos)
Visualización en pantalla Análogo
Detección de impulso de caída de rayo:
Intensidad mínima 1KA
Intensidad máxima 150 KA
Diseño de instalación en paralelo con la bajante
Detección sin contacto óhmico
Fijación segura mediante piezas de acero

Nota: la Tabla 10 detalla las características del contador de eventos atmosféricos.

Fuente: (Ingesco, 2025)

2.3 Instrumentos o Equipos profesionales para el registro de datos.

Estos equipos son indispensables para la toma de datos correctos y precisos para la elaboración de un sistema confiable y bien diseñado.

2.3.1 Megger MIT 1025

Equipo profesional diseñado para realizar mediciones de resistencia del aislamiento eléctrico, en conductores de media y alta tensión, como se representa en la Figura 27, sus características principales se representan en la Tabla 11 y los valores medidos en construcción se detallan en la Tabla 12.

Figura 27

Megger MIT1025



Nota: equipo Megger implementado para obtener la resistencia del aislamiento eléctrico.

Fuente: (los Autores).

Tabla 11

Características del Megger MIT1025

Características	Especificación Técnica
Voltaje de prueba	10 KV con opciones de salida de 500 V, 1 KV, 2.5 KV, 5 KV.
Rango de medición de resistencia	Desde 10 kΩ hasta 20 TΩ.
Precisión	±5% hasta 2 TΩ; ±20% hasta 20 TΩ.
Pruebas disponibles	DAR (relación de absorción dieléctrica), IR (resistencia de aislamiento), PI (Índice de polarización), DD (descarga dieléctrica), SV (tensión de paso) prueba de rampla.
Interfaz y almacenamiento	Almacenamiento interno y conexión USB para exportar resultados

Nota: la Tabla 11 detalla las características del equipo Megger

Fuente: (los Autores)

Tabla 12

Valores medidos en construcción de aislamiento del cable

Valores medidos en Construcción	
Valor de Resistencia de Aislamiento (KΩ-MΩ-TΩ) en Construcción	Equipo
0 lógico	Megóhmetro UT511

Nota: la Tabla 12 representa los valores registrados en la implementación, como se representa en la Figura 28.

Fuente: (Zumba. M. 2024)

Figura 28

Megado cable en construcción



Nota: equipo Megóhmetro UT511, utilizado para la toma de valores en construcción.

Fuente: (Zumba. M. 2024)

2.3.2 Telurómetro Fluke 1625-2

Comprobador avanzado de resistencia de tierra, ideal para verificar la calidad de sistemas de puesta a tierra en instalaciones eléctricas, como se representa en la Figura 29, sus principales características se detallan en la Tabla 13, los valores medidos en construcción se representan en la Figura 30 y Tabla 14.

Figura 29

Fluke 1625-2



Nota: la Figura 29 representa el equipo Fluke 1625-2.

Fuente: (los Autores)

Tabla 13*Características del Fluke 1625-2*

Características	Especificación Técnica
Cuatro métodos de medición	Caída de potencial de 3 y 4 (picas)
	Medición de resistividad de terreno 4 (picas)
	Medición selectiva (1 pinza + picas)
	Medición sin picas (2 pinzas)
Control automático de frecuencia (AFC)	Minimiza interferencias eléctricas para obtener lecturas más precisas.
Precisión	$\pm 5\%$ hasta $2\text{ T}\Omega$; $\pm 20\%$ hasta $20\text{ T}\Omega$.
Almacenamiento de datos	Exportación de formato CSV.

Nota: características del quipo Fluke 1625-2 implementado para el registro de datos.

Fuente: (los Autores)

Tabla 14*Valores medidos en construcción de la resistencia de la tierra*

Valores medidos en Construcción	
Resistencia malla de puesta a tierra (Ω) en Construcción	0,45
Resistencia del suelo en construcción	No realizado
Equipo	Equipo Fluke 1625

Nota: la Tabla 14 detallas valores registrados en la implementación de la malla.

Fuente: (Zumba. M. 2024)

Figura 30

Resistencia de malla de puesta a tierra en construcción



Nota: la Figura 30 detalla el equipo Fluke 1625, utilizado para la toma de valores en construcción.

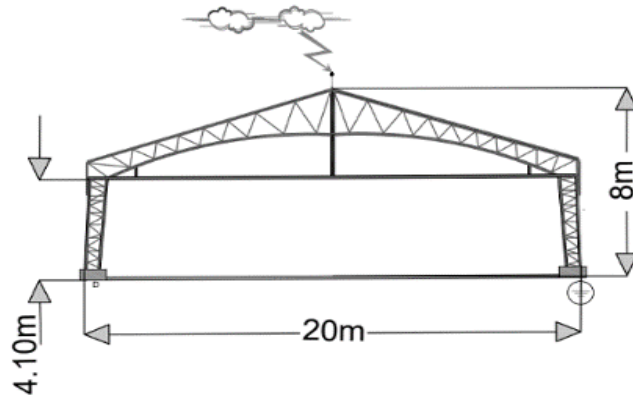
Fuente: (Zumba. M. 2024)

2.4 Planos de Construcción

Los siguientes planos son parte del repositorio del proyecto y permiten determinar las distancias y los lugares donde se implementó el sistema. Esto es de vital importancia para evaluar qué cambios ha tenido el sitio de instalación con el paso del tiempo. En la siguiente Figura 31, se pueden observar las distancias del cobertizo del taller de mecánica automotriz.

Figura 31

Plano taller de mecánica automotriz



Nota: en la Figura 31 se detalla las dimensiones de la infraestructura taller mecánica automotriz.

Fuente: (Los Autores)

2.5 Malla puesta a tierra

Se muestra la construcción del sistema de malla de puesta a tierra en la Figura 32, y sus elementos utilizados en la Tabla 15, cual se implementó en la parte frontal derecha del taller de mecánica automotriz del Tecnológico Universitario Rumiñahui.

Figura 32

Lugar de implementación malla puesta a tierra en construcción



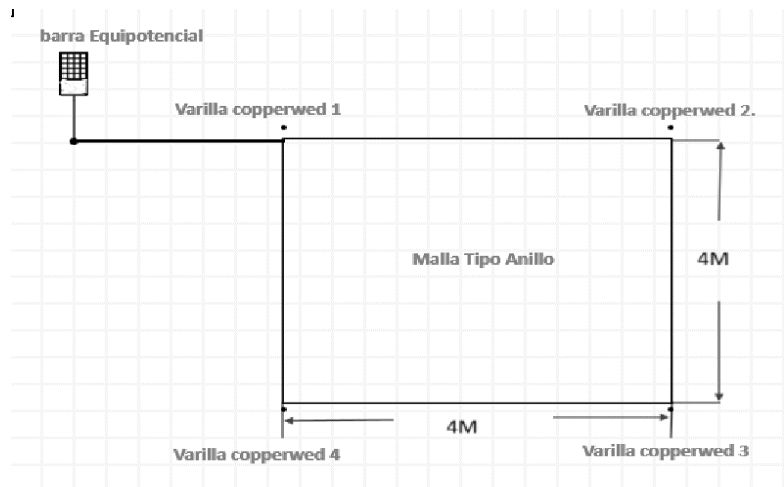
Nota: en la Figura 32 refleja la Malla de puesta a tierra instalada, tipo anillo.

Fuente: (Zumba. M. 2024)

2.5.1 Plano malla puesta a tierra

Figura 33

Diseño malla puesta a tierra



Nota: en la Figura 33 se refleja el diseño malla y sus dimensiones,malla tipo anillo

Fuente: (Los Autores)

Tabla 15

Información de construcción de malla de tierra

Valores e información de Construcción	
Valor de Resistencia (Ω)	Materiales implementados
Registrada en	Varilla copperweld Puesta a tierra de 16 mm Diámetro y 1.80 M Longitud Suelta Exotérmica, carga 150 Gramos Conductor de cobre desnudo, suave 1/0 AWG, 19 Hilos Mejorador de suelo GEM GEL
Construcción	
0,45	

Nota: en la Tabla 15 se detallan los materiales implementados para la construcción

Fuente: (Los Autores)

2.6 Procedimiento de investigación para mediciones del sistema de descargas atmosféricas

Establece la guía necesaria para el registro de mediciones y verificación del sistema de puestas a tierra y del pararrayo en industrias, estructuras y edificaciones que necesiten el sistema contra descargas atmosférica, aplicando la norma IEC 62305, cumpliendo los requisitos técnicos y el correcto funcionamiento.

- Inspección visual del sistema (pararrayo, cable, contador, barra equipotenciación)
- Megado de cable (Pruebas DAR, PI) con el equipo calibrado.
- Toma de datos resistencia de suelo y malla de tierra métodos (3 POLOS, WENNER) con el equipo calibrado.
- Analizar los parámetros medidos contra requerimientos de parámetros del sistema que se encuentren dentro de la normativa vigente.
- Validar estado actual para mejoras

2.7 Procedimiento norma IEC 62305

2.7.1 Verificación de la instalación norma IEC 62305

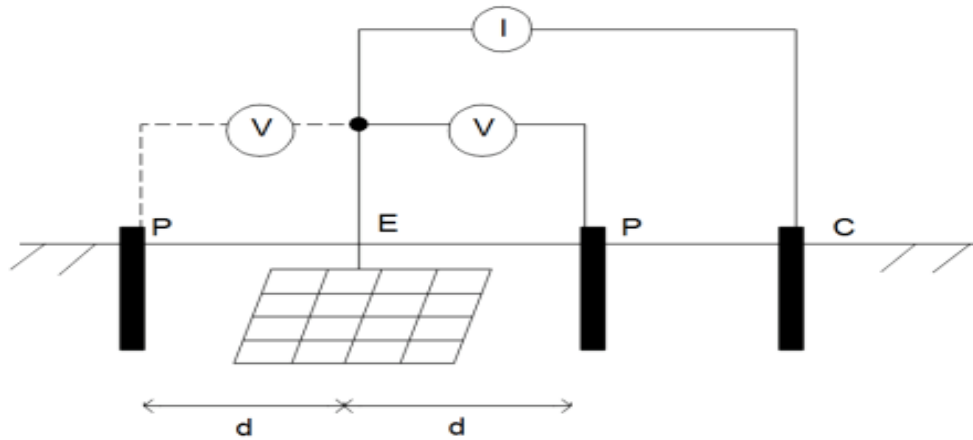
Visualmente realizar la inspección para verificar, la altura y la fijación correcta de los captadores.

2.7.2 Medición de resistencia de malla de tierra norma IEC 62305

Utilización equipo telurómetro con la configuración “Tres polos” o método 62% como se representa la Figura 34, valor de resistencia según la normativa se representa en la Tabla 16.

Figura 34

Método de caída de potencial



Nota: medición de la caída de potencial.

Fuente: (Epm, 2019)

Tabla 16

Configuración 3 polos o método 62%

Configuración de electrodos 3 polos / método del 62%			
Electrodo	Parámetros de distancia (m)	Distancia “a”	Rango valor Resistencia
(E/C) Electrodo puesta a tierra	0%	Puesta a tierra a medir	menor < 10 Ω .
(S/P) Electrodo de potencia auxiliar	62%	6 m	
(H/C) Electrodo corriente auxiliar	100%	10m	

Nota: en la siguiente Tabla 16 se representa los valores según norma IEC 62305, para evaluar la resistencia de la malla de tierra.

Fuente: (Los Autores)

En la Figura 35 se evidencia el valor medido en construcción, referencia y valores según normativa se describen en la Tabla 17.

Figura 35

Valor registrado de la Resistencia de malla de puesta a tierra en construcción



Nota: Registro de valores en construcción.
Fuente: (Zumba. M. 2024)

Tabla 17

Tabla comparativa valor resistencia de malla normativa IEC 62305.

Valor Resistencia de malla de tierra norma IEC 62305	Valor Resistencia de malla de tierra medido en construcción	Resultado
menor < 10 Ω	0,45 Ω	Excelente

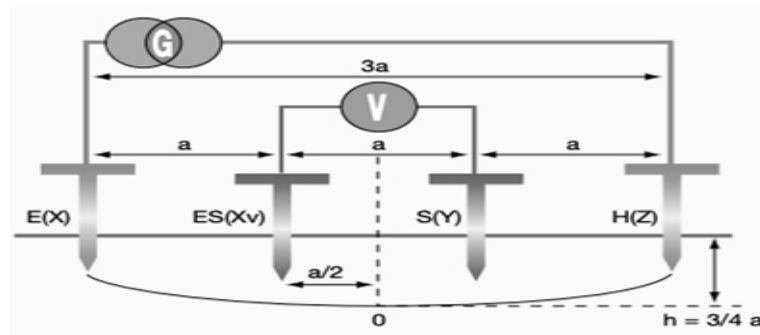
Nota: en la Tabla 17 se detalla el valor de resistencia obtenido en construcción y valor de la norma IEC 62305.
Fuente (Los Autores)

2.7.4 Medición de la puesta a tierra en malla anillo, Wenner norma IEC 62305

Utilización equipo telurómetro con la configuración método “cuatro polos” o Wenner, referencia de la configuración se representa en la Figura 36 en la Tabla 18 y los valores según normativa se describen en la Tabla 19.

Figura 36

Método de Wenner



Nota: se detalla el método Wenner, donde los términos X, Xv, Y, Z corresponden a la antigua denominación utilizada respectivamente para los electrodos E, Es, S y H puesta a tierra en malla anillo.

Fuente: (Chauvin, 2020)

Tabla 18*Configuración de electrodos metodo Wenner*

Configuración de electrodos 4 polos / método del Wenner			
Electrodo	Parámetros de distancia (m)	Distancia “a”(m)	Rango del valor de Resistencia
(E/C1) Electrodo corriente auxiliar			
(ES/P1) Electrodo de potencial auxiliar	1-2-4-6-8-10	1-2-4-6-8-10	Menor igual $\leq 10 \Omega$
(S/P2) Electrodo de potencial Auxiliar			
(H/C2) Electrodo corriente auxiliar			

Nota: se detalla en la Tabla 18 la denominación de los electrodos, parámetros de distancias, rango de resistencia.

Fuente: (Los Autores)

Tabla 19*Tabla del valor solicitado normativa con el valor medido en construcción*

Valor resistencia puesta a tierra en malla norma IEC	Valor resistencia puesta a tierra en malla en construcción	Resultado
Menor igual $\leq 10 \Omega$.	0 Ω	No realizado

Nota: se detalla en la Tabla 19 el valor de resistencia según norma IEC 62305, valores obtenidos en construcción y resultados.

Fuente (Los Autores)

2.7.5 Análisis e Informe del registro de datos resistencia de suelo

El formato del informe para el registro de datos de la resistencia de suelo es necesario y se puede representar en la Figura 37, en el cual se detallan los parámetros a considerar para la toma de datos.

Figura 37

Formato para el registro de datos de resistencia del suelo

NORMAS TÉCNICAS																																																																																													
MEDIDA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUELO																																																																																													
10. FORMATO PARA REGISTRO DE MADICIONES DE RESISTIVIDAD																																																																																													
DATOS DEL SITIO																																																																																													
Fecha:																																																																																													
Canton:																																																																																													
Provincia:	Dirección:		Cliente:																																																																																										
Proyecto:																																																																																													
DATOS COMPLEMENTARIOS																																																																																													
Responsable de la medición:																																																																																													
Equipo de medida utilizado:		Fecha de calibración del Equipo:																																																																																											
Condiciones del terreno:	Seco:	Húmedo:																																																																																											
Observaciones del si																																																																																													
REGISTROS DE LAS MEDIDAS																																																																																													
<table border="1" style="width: 45%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Metodo Wenner</th> </tr> <tr> <th>m</th> <th>$R_1 \Omega$</th> <th>$P_1 (\Omega \cdot m)$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Perfil 2</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>$R_1 \Omega$</td> <td>$P_2 (\Omega \cdot m)$</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Perfil 3</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>$R_1 \Omega$</td> <td>$P_3 (\Omega \cdot m)$</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Perfil 4</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>$R_1 \Omega$</td> <td>$P_4 (\Omega \cdot m)$</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Perfil 5</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>$R_1 \Omega$</td> <td>$P_5 (\Omega \cdot m)$</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Perfil 6</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>$R_1 \Omega$</td> <td>$P_6 (\Omega \cdot m)$</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Resistividad promedio</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 45%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Metodo 3 Polos</th> </tr> <tr> <th>Malla tierra</th> <th>$R_1 \Omega$</th> <th>$P_1 (\Omega \cdot m)$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Perfil 2</td> </tr> <tr> <td>Malla de servicio</td> <td>$R_1 \Omega$</td> <td>$P_2 (\Omega \cdot m)$</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Perfil 3</td> </tr> <tr> <td>Malla unificada</td> <td>$R_1 \Omega$</td> <td>$P_3 (\Omega \cdot m)$</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">promedio</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> </tr> </tbody> </table>				Metodo Wenner			m	$R_1 \Omega$	$P_1 (\Omega \cdot m)$	1			Perfil 2			m	$R_1 \Omega$	$P_2 (\Omega \cdot m)$	2			Perfil 3			m	$R_1 \Omega$	$P_3 (\Omega \cdot m)$	4			Perfil 4			m	$R_1 \Omega$	$P_4 (\Omega \cdot m)$	6			Perfil 5			m	$R_1 \Omega$	$P_5 (\Omega \cdot m)$	8			Perfil 6			m	$R_1 \Omega$	$P_6 (\Omega \cdot m)$	10			Resistividad promedio			Metodo 3 Polos			Malla tierra	$R_1 \Omega$	$P_1 (\Omega \cdot m)$				Perfil 2			Malla de servicio	$R_1 \Omega$	$P_2 (\Omega \cdot m)$				Perfil 3			Malla unificada	$R_1 \Omega$	$P_3 (\Omega \cdot m)$				promedio					
Metodo Wenner																																																																																													
m	$R_1 \Omega$	$P_1 (\Omega \cdot m)$																																																																																											
1																																																																																													
Perfil 2																																																																																													
m	$R_1 \Omega$	$P_2 (\Omega \cdot m)$																																																																																											
2																																																																																													
Perfil 3																																																																																													
m	$R_1 \Omega$	$P_3 (\Omega \cdot m)$																																																																																											
4																																																																																													
Perfil 4																																																																																													
m	$R_1 \Omega$	$P_4 (\Omega \cdot m)$																																																																																											
6																																																																																													
Perfil 5																																																																																													
m	$R_1 \Omega$	$P_5 (\Omega \cdot m)$																																																																																											
8																																																																																													
Perfil 6																																																																																													
m	$R_1 \Omega$	$P_6 (\Omega \cdot m)$																																																																																											
10																																																																																													
Resistividad promedio																																																																																													
Metodo 3 Polos																																																																																													
Malla tierra	$R_1 \Omega$	$P_1 (\Omega \cdot m)$																																																																																											
Perfil 2																																																																																													
Malla de servicio	$R_1 \Omega$	$P_2 (\Omega \cdot m)$																																																																																											
Perfil 3																																																																																													
Malla unificada	$R_1 \Omega$	$P_3 (\Omega \cdot m)$																																																																																											
promedio																																																																																													
$P = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6) / 6$																																																																																													

Nota: en la Figura 37 se detalla los parámetros necesarios para el registro de datos.

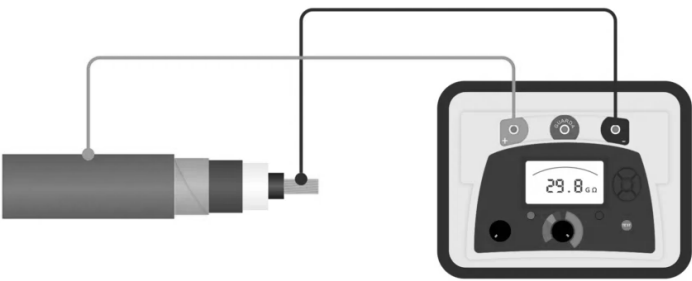
Fuente: (Los Autores)

2.7.6 Medición de aislamiento del conductor, norma IEC 62305

Se utiliza el equipo Megger calibrado, verificar que el conductor no se ponga en contacto con partes metálicas y su valor de resistencia: $\geq 1\text{ M}\Omega$ entre conductores de masa y bajada como se representa en la Figura 38 y tipos de pruebas, se representa en la Tabla 20.

Figura 38

Esquema del Megóhmetro



Nota: Esquema de medición de resistencia de aislamiento en conductor eléctrico.

Fuente: (Moreles, 2023)

Tabla 20

Tipo de pruebas con el megger e interpretación de indicadores

Pruebas para el megado de cable		
Tipo	Denominación	Tiempo de prueba
Prueba IR	De impulso	impulso
Prueba DAR	Rápida	1 minuto
Prueba PI	Análisis	10 minutos
Tensión de prueba	25 kV	

Nota: se detalla en la Tabla 20 las pruebas de megado.

Fuente: (Los Autores)

2.7.6.1 Interpretación de indicadores PI, Normativa IEEE 43-2000

En la Tabla 21 se interpreta la condición de aislamiento del cable aplicado la prueba PI.

Tabla 21

Condición del aislamiento

Condición	Índice de Polaridad PI	Interpretación
Peligroso	$PI < 1$	PI menor que uno
Dudoso	$1 < PI < 2$	PI mayor que uno y menor que dos
Bueno	$2 < PI < 4$	PI mayor que dos y menor que cuatro
Excelente	$PI > 4$	PI mayor que cuatro

Nota: la tabla 21 refleja los valores para identificar la condición del aislamiento.

Fuente: (IEEE 43-2000)

2.7.6.2 Tabla. Interpretación de indicadores DAR, Normativa IEEE 43-2000

En la Tabla 22 se interpreta la condición de aislamiento del cable aplicado la prueba DAR.

Tabla 22.

Condición de estado del aislamiento

Condición de aislamiento	Valor de DAR	Interpretación
Insuficiente	$DAR < 1,25$	DAR menor que 1,25
OK	$1,25 < DAR < 1,6$	DAR mayor que 1,25 y menor que 1,6
Excelente	$DAR > 1,6$	DAR mayor que 1,6

Nota: la Tabla 22 refleja los valores del estado del aislamiento.

Fuente: (IEEE 43-2000).

2.7.7 Análisis e Informe de registro de datos megado de cable

El formato del informe para el registro de datos del megado de cable es necesario y se puede representar en la Figura 39, en el cual se detallan los parámetros a considerar para la toma de datos.

Figura 39

Formato de toma de datos

PROTOCOLO DE MEGADO DE CABLES									
Proyecto:							Protocolo N°:		
Cliente:							Fecha:		
Plano Ref:									
Descripción del equipo de Medición:						Fecha de calibración de Equipo:			
Serie:			Modelo:			N° Certificado de Calibración:			
Prueba de Megado (Aislamiento) de cables									
Numero de Bobina	Marca	Long. (mts)	Tensión (V) AC	N° de Hilos x Calibre (mm 2)	N° hilo + Terra	Total hilos Tierra	Duración (Seg.)	Resistencia Giga Ω	
Emitido por:			Revisado por:			Aprobado por:			
Nombre/Cargo			Nombre/Cargo			Nombre/Cargo			
Fecha:	Firma:		Fecha:	Firma:		Fecha:	Firma:		

Nota: en la Figura 39 se detalla los parámetros necesarios para el registro de datos.

Fuente: (Los Autores)

2.7.8 Consideración ética

La Seguridad Industrial en la ejecución de las actividades es importante para proteger a todos quienes intervienen directa e indirecta al realizan la intervención en el sistema contra descargas Atmosférica. El documento de Análisis de Trabajo Seguro es necesario previo a la ejecución de las actividades como se puede representar en la Figura 40.

Figura 40

Formato Análisis de Trabajo Seguro (ATS)

ANÁLISIS DE TRABAJO SEGURO (ATS)					CÓDIGO:	GEC-SI-P001-F009	
					VERSIÓN:	00	
					REVISADO:		
FECHA:	DEPT. /SECCIÓN/GRUPO/ÁREA		N° OT:		CONDICIONES DE LA ACTIVIDAD		
DIRECCIÓN:					RUTINARIA		
TRABAJO A REALIZAR:					NO RUTINARIA		
ACTIVIDAD (Secuencia ordenada de pasos)	RIESGOS POTENCIALES	PROBABILIDAD	CONSECUENCIA	NIVEL DE RIESGO	MEDIDA PREVENTIVA		
1.-							
2.-							
3.-							
4.-							
5.-							
6.-							
7.-							
8.-							
9.-							
10.-							
EQUIPOS Y ELEMENTOS DE SEGURIDAD							
ROPA DE TRABAJO	PROTECCIÓN FACIAL	CALZADO DIELECTRICO	CINTURÓN DE SEGURIDAD	1.-			
ROPA DE TRABAJO RF	GUANTES DE CUERO	CALZADO P. DE ACERO	TREPADORA	2.-			
CASCO DIELECTRICO	GUANTES IGNIFUGOS	ARNÉS	CHALECO REFLECTIVO	3.-			
BARBIQUEJO	GUANTES DIELECTRICOS	LÍNEA DE VIDA	CINTA DE POLIETILENO	4.-			
GAFAS	MANGAS DE CUERO	MANDIL DE CUERO	CONOS REFLECTIVOS	5.-			
PROTECCIÓN AUDITIVA	RESPIRADOR	CARETA DE SOLDADOR	OTROS	6.-			
OBSERVACIONES:							
REGISTRO			NIVEL DE RIESGO	CONSECUENCIA			
NOMBRE Y APELLIDO	ROL	FIRMA		Ligeramente Dañino (LD)	Dañino (D)	Extremadamente Dañino (ED)	
1.-			P R O B A B I L I D A D	Baja	Trivial	Tolerable	Moderado
2.-							
3.-							
4.-							
5.-				Media	Tolerable	Moderado	Importante
6.-							
7.-							
8.-				Alta	Moderado	Importante	Intolerable
EN CASO DE EMERGENCIA - Mantener la calma y dar una voz de alarma - Comunicar el accidente de trabajo - Coordinar las acciones de traslado del trabajador a una unidad médica. - Seguir el Procedimiento para notificación, investigación y reporte de accidentes e incidentes de trabajo en la Empresa Eléctrica Quito, GEC-SI-P004.							
TELÉFONO DE EMERGENCIA Emergencia: 911							

Nota: en la Figura 40 se detalla el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) donde se considera, los trabajos a realizar, riesgos potenciales y medidas preventivas.

Fuente: (Los Autores)

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Verificación estado actual de la implementación del sistema de protección de descargas atmosféricas.

Se realizó las mediciones iniciales para comparar las mediciones obtenidas con las mediciones de construcción del sistema de descarga atmosférica existente en el Tecnológico Universitario Rumiñahui.

3.2 Inspección visual del sistema de los elementos principales

Se realizó la inspección visual del sistema en el cual se puede visualizar en la Figura 41, los elementos del sistema de descarga atmosférica y en la Tabla 23 se representa el resultado de verificación actual.

Figura 41

Elementos del sistema de descargas atmosféricas



Nota: la Figura 41 refleja los elementos del sistema de descargas atmosféricas: (1) pararrayo, (2) cable, (3) contador, (4) Barra equipotenciación

Fuente: (Los Autores)

Tabla 23

Estado de los elementos

Elementos del sistema de descargas atmosféricas	
Pararrayo	Buen estado
Cable	Buen estado
Controlador	Buen estado
Barra de equipotenciación	Buen estado

Nota: En la Tabla 23 se demuestra que todos nuestros los elementos principales del sistema, se encuentran en buen estado pese que ha pasado 18 meses de su implementación.

Fuente: (Los Autores)

3.2.1 Inspección del empotramiento del mástil

Se realizó la inspección del empotramiento del mástil con un vehículo canastilla en el cual se evaluó la corrosión y la revisión del torque de los pernos de las abrazaderas como se muestra en la Figura 42 y en la Tabla 24 se representa el resultado de verificación actual.

Figura 42

Mástil instalado



Nota: la Figura 42 refleja la inspección del empotramiento y corrosión del mástil

Fuente: (Los Autores)

Tabla 24

Estado del empotramiento del mastil

Elementos del sistema de descargas atmosféricas (mástil)	
Mástil	Bien empotrado
Ajuste de abrazaderas	Torque correcto de los pernos
Estado de corrosión	No presenta corrosión del tubo

Nota: En la tabla 24 se determina el estado del ajuste mecánico del mástil en la estructura del taller

Fuente: (los Autores)

3.2.2 Revisión de contactos eléctricos de la barra de equipotenciación

En la Figura 43 se visualiza las pruebas en el tablero de la barra de equipotenciación y de los puntos de contacto, en la Tabla 25 se representa el resultado de la revisión actual.

Figura 43

Tablero de la barra de equipotenciación



Nota: la Figura 43 refleja la revisión y reajuste de los contactos eléctricos de la barra: (1) cable pararrayo, (2) cable bobina de choque, (3) cable malla de tierra

Fuente: (Los Autores)

Tabla 25*Revisión de contactos eléctricos instalados en la barra*

Elementos instalados en la barra de equipotenciación	
Cable pararrayo	Torque correcto
Cable bobina de choque	Torque correcto
Cable malla de tierra	Torque correcto

Nota: en la Tabla 25 se determina el estado del ajuste mecánico de los elementos instalados

Fuente: (los Autores)

3.3 Megado de cable (Pruebas DAR, PI)

Previo a realizar la prueba de megado de cable se realiza la liberación del cable de la estructura metálica del taller, desconexión del pararrayo y desconexión del cable de la barra de equipotenciación, como se muestra en la imagen de la Figura 44 y se verifica el certificado de la calibración del equipo.

Figura 44

Desconexión de contactos eléctricos



Nota: la Figura 44 refleja la desconexión de los contactos eléctricos: (1) liberación del cable de la estructura metálica, (2) desconexión del pararrayo, (3) desconexión del cable de la barra de equipotenciación.

Fuente: (Los Autores)

3.3.1 Megado del cable (Prueba DAR)

Se realizó el megado de aislamiento eléctrico del cable, con el equipo Megger MIT1025, prueba Dielectric Absorption Ration (DAR) es una prueba rápida con un nivel de prueba de 2.5 KV por la especificación del cable tensión de servicio 2000 V, como se representa en la Figura 45 y los datos obtenidos y detalle de la prueba se adjunta en la Tabla 26.

Figura 45

Dielectric Absorption Ration (DAR)



Nota: la Figura 45 refleja el resultado de la prueba respecto a tierra (DAR) con la conexión polo negro (-) al cable y polo rojo (+) a la malla de servicio.

Fuente: (Los Autores)

Tabla 26

Prueba Dielectric Absorption Ration (DAR)

Prueba Dielectric Absorption Ration (DAR)		
Parámetros	Datos obtenidos	Condición Aislamiento
Tensión de prueba	2.5 KV / 2500 V	Norma IEEE 43
Resistencia aislamiento	141.7 G Ω .	Excelente mayor > a 1 G Ω .
DAR 60s / 30s comparación	1.83	Excelente mayor > a 1.25
Corriente de fuga (nA)	18.0	Baja / Excelente
Tiempo de prueba	1 minuto /prueba rápida	

Nota: en la Tabla 26 demuestra los resultados medidos de la resistencia de aislamiento, los mismos que se encuentran en buenas condiciones pese que ha pasado 18 meses de su implementación.

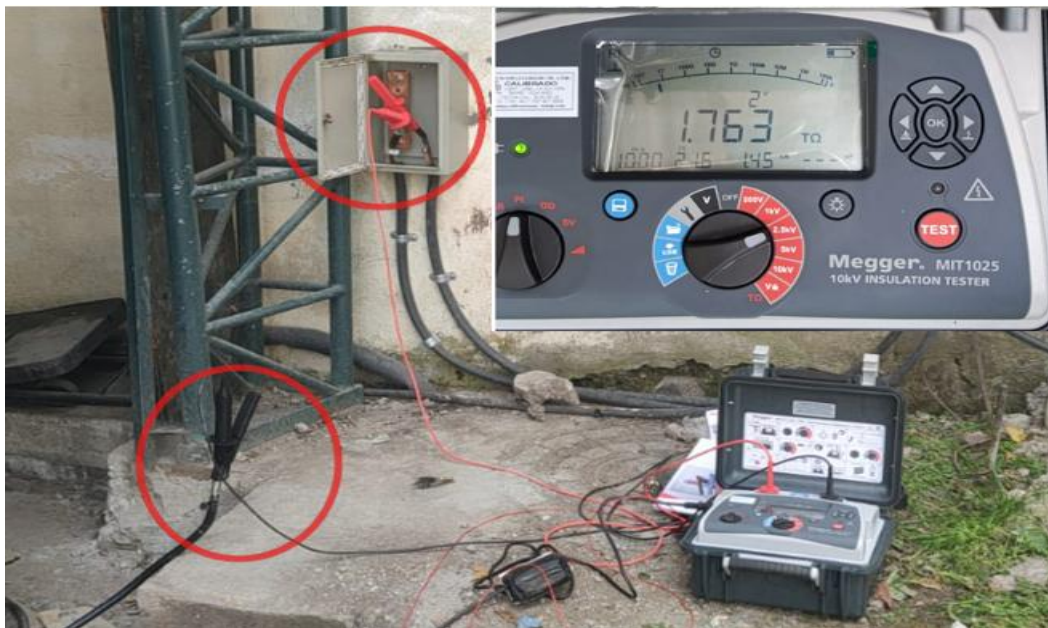
Fuente: (Los Autores)

3.3.2 Megado del cable (Prueba IP)

Se realizó el megado de aislamiento eléctrico del cable, con el equipo Megger MIT1025, prueba Índice de Polarización o Polarization Index (PI), cociente entre 2 lecturas de resistencia de aislamiento realizadas en diferentes tiempos, con un nivel de prueba de 2.5 KV por la especificación del cable tensión de servicio 2000 V como se representa en la Figura 46, y los datos obtenidos de la prueba se representan en la Tabla 27.

Figura 46

Índice de Polarización o Polarization Index (PI)



Nota: la Figura 46 refleja el resultado de la prueba (IP) con la conexión polo negro (-) al cable del pararrayo y polo rojo (+) a la malla de servicio.

Fuente: (Los Autores)

Tabla 27*Prueba Índice de Polarización (PI)*

Índice de Polarización o Polarization Index (PI)		
Parámetros	Datos obtenidos	Condición Aislamiento
Tensión de prueba	2.5 KV / 2500 V	Norma IEEE-43
Resistencia aislamiento	1,763 T Ω .	Excelente
(PI) relación entre la		
Resistencia a 10 _{min} y 1 _{min}	21.6	PI $\geq$ 2,0 Buen aislamiento
Comparación		
Corriente de fuga (mA)	1.45	Baja / Excelente
Tiempo de prueba	10 minutos	

Nota: en la Tabla 27 demuestra los resultados medidos de la resistencia de aislamiento con la prueba (PI), en 10 minutos, los mismos que se encuentran en buenas condiciones pese que ha pasado 18 meses de su implementación.

Fuente: (Los Autores)

3.3.3 Calibración del equipo Megger MIT1025

Se realizó la calibración del equipo Megger MIT1025 en Metrólogos Asociados del Ecuador “METAS DEL ECUADOR CIA.LTDA”, para verificar y ajustar la precisión del equipo de medición comparándolo con patrón trazable a normas internacionales con el objetivo de garantizar los resultados que sean confiables y válidos, como se representa en la Figura 47

Figura 47

Certificación de la calibración del equipo Megger MIT1025

 METROLOGOS ASOCIADOS DEL ECUADOR LABORATORIO DE CALIBRACIÓN Y ENSAYO		 Red Ecuatoriana de Metrología "Laboratorios Secundarios de Calibración"		 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Accreditación N° SAE-LCA-17-001 LABORATORIO DE CALIBRACIÓN
MAGNITUDES ELÉCTRICAS				
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN				
Número de Certificado: LMEL-25-932-CRA			Orden: 6340	
<u>DATOS DEL CLIENTE</u>			<u>INSTRUMENTO BAJO PRUEBA</u>	
Nombre:	TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI		Descripción: ⁽¹⁾	10 KV INSULATION TESTER
Dirección:	Sangolquí, Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero		Marca: ⁽¹⁾	MEGGER
Contacto:	-----		Modelo: ⁽¹⁾	MIT1025
Teléfono:	023 524 529 / 096 005 2734		Serie: ⁽¹⁾	102418502
PROCEDIMIENTO UTILIZADO: PR-LMEL-01			Código: ⁽¹⁾	-----
			Fecha de recepción:	2025-05-16
<u>CONDICIONES AMBIENTALES</u>			<u>FECHA DE CALIBRACIÓN</u>	
Lugar de Calibración:	LABORATORIO		Inicio de Calibración:	2025-05-20
Temperatura ambiente:	20 °C ± 5 °C		Fin de Calibración:	2025-05-20
Humedad Relativa:	50 %HR ± 20 %HR		Próxima Calibración:	-----
			Fecha de Emisión:	2025-05-20
			Núm. de días de Calibración:	01 día
<u>INSTRUMENTO PATRÓN UTILIZADO</u>				
Descripción:	DECADA DE RESISTENCIAS			
Marca:	OHMITE			
Modelo:	104E			
Serie:	20200309M001			
Núm. Certificado:	LMEL-25-320-DER			
Fecha de Cal:	2025-03-08			
F. de próx. Cal:	2026-03-08			
<u>DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CALIBRACIÓN</u>				
La incertidumbre expandida reportada se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar combinada por un factor de cobertura k calculado, que corresponde a un nivel de confianza aproximadamente del 95,45%, de acuerdo con el tipo de distribución. La incertidumbre de medida se estimó basándose en la G.U.M. "Guide to the expression of uncertainty in measurement" en vigencia. Las mediciones fueron realizadas por personal autorizado de nuestro laboratorio basados en patrones de referencia que mantienen trazabilidad al Sistema Internacional SI, a través de Laboratorios Acreditados bajo la Norma NTE INEN ISO IEC 17025:2018. Para la calibración se ha considerado entre otras las siguientes fuentes de incertidumbre: instrumento patrón, instrumento bajo prueba (IBP) y método. Se utilizan procedimientos desarrollados por la Compañía METASDELECUADOR CÍA. LTDA. Los resultados de este certificado son válidos únicamente para el instrumento indicado y bajo las condiciones de referencia declaradas que se detallan en las siguientes páginas como parte del certificado. Este certificado de calibración no debe ser copiado parcialmente, excepto en su totalidad, con la autorización y firmas del personal responsable de la Compañía METASDELECUADOR CÍA. LTDA. Este laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado del instrumento calibrado y del certificado. ⁽¹⁾METASDELECUADOR CÍA. LTDA. no es responsable por la información proporcionada por el cliente. ⁽²⁾Información tomada de las especificaciones proporcionadas por el fabricante. El intervalo de calibración (confirmación metrológica) del instrumento es responsabilidad del cliente. La trazabilidad del laboratorio de la Compañía METASDELECUADOR CÍA. LTDA. está disponible para el cliente si lo requiere.				
				
Quito, Manglaralto 514-200 y Tomas Guerra (sector San Bartolo) Tel: 023 041 4877 097 967008 atencioncliente@calibraciones-metas.com www.calibraciones-metas.com				
Página: 1 de 3				

Nota: la Figura 47 detalla la calibración del equipo Megger MIT1025, por parte de METAS DEL ECUADOR CIA.LTDA.

Fuente: (Los Autores)

3.4 Toma de datos resistencia de malla de tierra y de suelo métodos (3 POLOS, WENNER)

Previo a realizar la toma de datos de resistencia de la malla y del suelo, se realizó la preparación del terreno, preparación del equipo, desconexión de los terminales de los cables de (malla a tierra, malla de servicio) de la barra de equipotenciación, selección del método de medición, la medición de corriente y voltaje, para la realización del cálculo de la resistencia o resistividad como se muestra en la Figura 48 y se verifica certificado de la calibración del equipo.

Figura 48

Certificación calibración del equipo Megger MIT1025



Nota: la Figura 48 representa los trabajos previos para la toma de datos: (1) preparación del terreno, (2) preparación del equipo telurómetro (3) desconexión de los terminales de los cables (malla a tierra, malla de servicio) de la barra de equipotenciación.

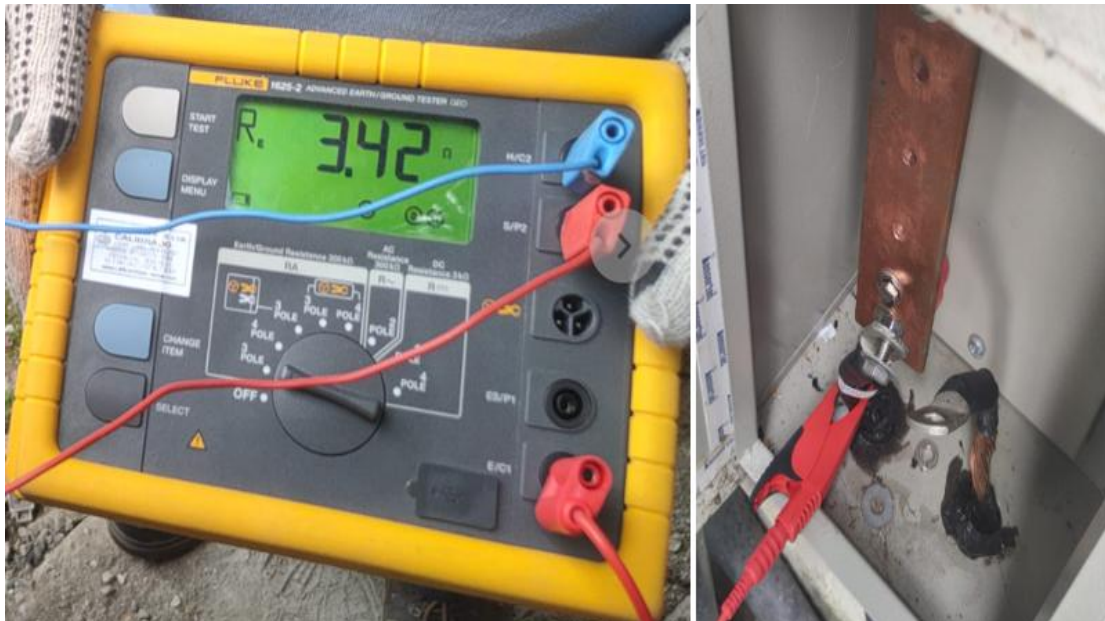
Fuente: (Los Autores)

3.4.1 Prueba de resistencia de malla de tierra y su medición método (3 polos)

Se realizó la toma de datos de la prueba de resistencia a las 2 mallas instaladas, malla de tierra y malla de servicio individualmente y luego una en conjunto con la configuración de 3 polos o método del 62%, con el equipo telurómetro Fluke 1625-2, se realizó la instalación de los electrodos con la siguiente configuración: (E) electrodo de puesta a tierra se conectó a la malla de tierra, (S/P2) Electrodo de potencia auxiliar se conectó a una distancia de 6 m o al 62% del electrodo (E), en la misma recta se instala (H/C2) electrodo de corriente auxiliar a una distancia de 10m 0 al 100%, los datos se reflejan en las Figuras 49, 50, 51, 52 y la Tabla 28.

Figura 49

Prueba 3 polos o método 62% (malla de tierra)

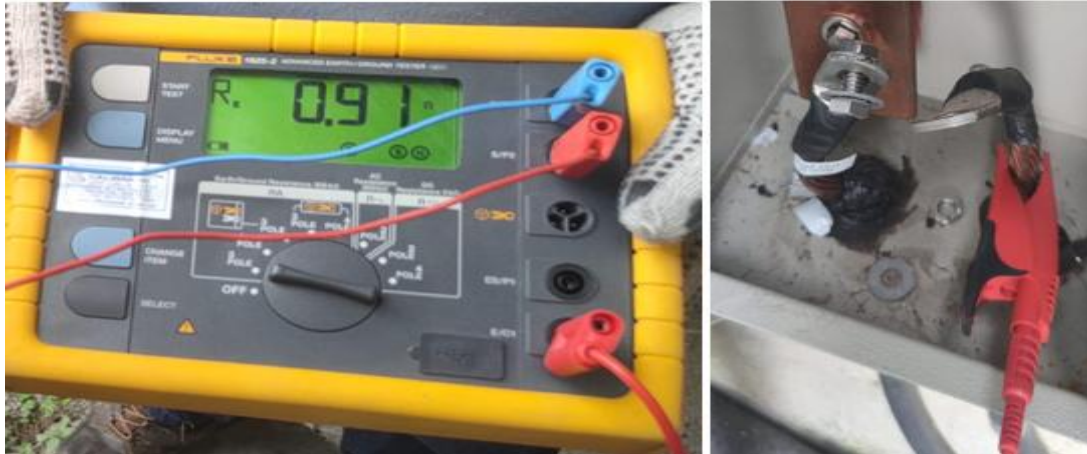


Nota: la Figura 49 refleja el resultado 3.42 Ω de la prueba malla de tierra con la conexión 3 polos: (E) electrodo de puesta a tierra (malla de tierra), (S/P2) Electrodo de potencia auxiliar 6m, (H/C2) electrodo de corriente auxiliar 10m.

Fuente: (Los Autores)

Figura 50

Prueba 3 polos o método 62% (malla de servicio)

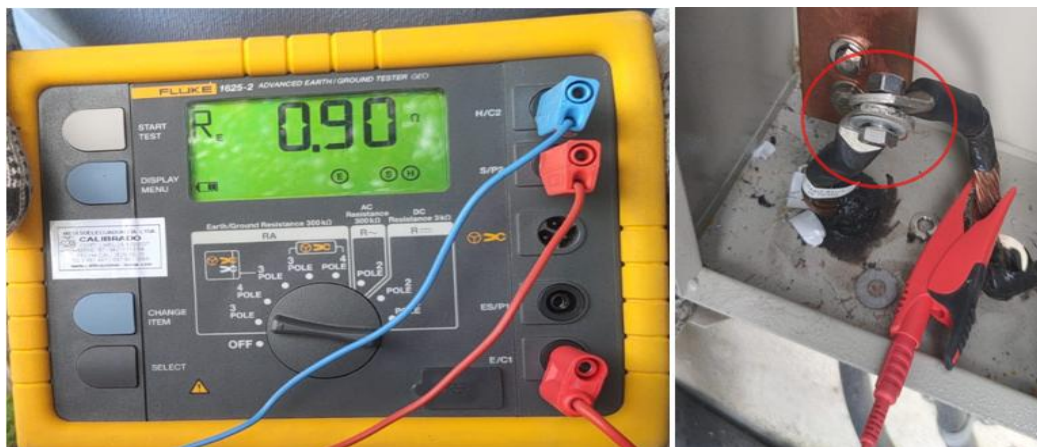


Nota: la Figura 50 refleja el resultado 0.91 Ω de la prueba malla de tierra con la conexión 3 polos: (E) electrodo de puesta a tierra (malla de servicio), (S/P2) Electrodo de potencia auxiliar 6m, (H/C2) electrodo de corriente auxiliar 10m.

Fuente: (Los Autores)

Figura 51

Prueba 3 polos o método 62% (malla de servicio y malla de tierra)



Nota: la Figura 51 refleja el resultado 0.90 Ω de la prueba de las 2 mallas con la conexión 3 polos: (E) electrodo de puesta a tierra (malla de servicio y malla de tierra), (S/P2) Electrodo de potencia auxiliar 6m, (H/C2) electrodo de corriente auxiliar 10 m.

Fuente: (Los Autores)

Figura 52

Formato del registro de datos de la resistencia eléctrica del suelo método 3 polos

NORMAS TÉCNICAS																																																																																																																					
MEDIDA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUELO																																																																																																																					
10. FORMATO PARA REGISTRO DE MEDICIONES DE RESISTIVIDAD																																																																																																																					
DATOS DEL SITIO																																																																																																																					
Fecha: 2025-07-04																																																																																																																					
Canton: Rumíñahui																																																																																																																					
Provincia: Pichinca	Dirección: Sangolquí, Av Atahualpa 1701 y 8 de Febrero																																																																																																																				
Proyecto: Mantenimiento del sistema descargas atmosféricas		Cliente: Tecnológico Universitario Rumíñahui																																																																																																																			
DATOS COMPLEMENTARIOS																																																																																																																					
Responsable de la medición: Luis Raírez, Daniel Huerfano, Mateo Iza																																																																																																																					
Equipo de medida utilizado: FLUKE 1625-2		Fecha de calibración del Equipo: 2025-05-20																																																																																																																			
Condiciones del terreno: Seco: SI		Húmedo:																																																																																																																			
Observaciones del sitio: Parte del terreno (parqueadero) es relleno con lastre																																																																																																																					
REGISTROS DE LAS MEDIDAS																																																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">Metodo Wenner</th> <th colspan="3" style="text-align: center;">Metodo 3 Polos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>m</td> <td>$R_1 \Omega$</td> <td>$P_1 (\Omega \cdot m)$</td> <td>Malla tierra</td> <td>$R_1 \Omega$</td> <td>$P_1 (\Omega \cdot m)$</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3.42</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Perfil 2</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Perfil 2</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>$R_1 \Omega$</td> <td>$P_2 (\Omega \cdot m)$</td> <td>Malla de servicio</td> <td>$R_1 \Omega$</td> <td>$P_2 (\Omega \cdot m)$</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.91</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Perfil 3</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Perfil 3</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>$R_1 \Omega$</td> <td>$P_3 (\Omega \cdot m)$</td> <td>Malla unificada</td> <td>$R_1 \Omega$</td> <td>$P_3 (\Omega \cdot m)$</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.90</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Perfil 4</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Promedio</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>$R_1 \Omega$</td> <td>$P_4 (\Omega \cdot m)$</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Perfil 5</td> <td colspan="3" style="text-align: center;"> $P = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4$ </td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>$R_1 \Omega$</td> <td>$P_5 (\Omega \cdot m)$</td> <td>Resistividad promedio (1 a 4m)</td> <td></td> <td>0 $\Omega \cdot m$</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Perfil 6</td> <td colspan="3" style="text-align: center;"> $P = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6) / 6$ </td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>$R_1 \Omega$</td> <td>$P_6 (\Omega \cdot m)$</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Resistividad promedio (1 a 6m)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Metodo Wenner			Metodo 3 Polos			m	$R_1 \Omega$	$P_1 (\Omega \cdot m)$	Malla tierra	$R_1 \Omega$	$P_1 (\Omega \cdot m)$	1				3.42		Perfil 2			Perfil 2			m	$R_1 \Omega$	$P_2 (\Omega \cdot m)$	Malla de servicio	$R_1 \Omega$	$P_2 (\Omega \cdot m)$	2				0.91		Perfil 3			Perfil 3			m	$R_1 \Omega$	$P_3 (\Omega \cdot m)$	Malla unificada	$R_1 \Omega$	$P_3 (\Omega \cdot m)$	4				0.90		Perfil 4			Promedio			m	$R_1 \Omega$	$P_4 (\Omega \cdot m)$				6						Perfil 5			$P = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4$			m	$R_1 \Omega$	$P_5 (\Omega \cdot m)$	Resistividad promedio (1 a 4m)		0 $\Omega \cdot m$	8						Perfil 6			$P = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6) / 6$			m	$R_1 \Omega$	$P_6 (\Omega \cdot m)$				10						Resistividad promedio (1 a 6m)					
Metodo Wenner			Metodo 3 Polos																																																																																																																		
m	$R_1 \Omega$	$P_1 (\Omega \cdot m)$	Malla tierra	$R_1 \Omega$	$P_1 (\Omega \cdot m)$																																																																																																																
1				3.42																																																																																																																	
Perfil 2			Perfil 2																																																																																																																		
m	$R_1 \Omega$	$P_2 (\Omega \cdot m)$	Malla de servicio	$R_1 \Omega$	$P_2 (\Omega \cdot m)$																																																																																																																
2				0.91																																																																																																																	
Perfil 3			Perfil 3																																																																																																																		
m	$R_1 \Omega$	$P_3 (\Omega \cdot m)$	Malla unificada	$R_1 \Omega$	$P_3 (\Omega \cdot m)$																																																																																																																
4				0.90																																																																																																																	
Perfil 4			Promedio																																																																																																																		
m	$R_1 \Omega$	$P_4 (\Omega \cdot m)$																																																																																																																			
6																																																																																																																					
Perfil 5			$P = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4$																																																																																																																		
m	$R_1 \Omega$	$P_5 (\Omega \cdot m)$	Resistividad promedio (1 a 4m)		0 $\Omega \cdot m$																																																																																																																
8																																																																																																																					
Perfil 6			$P = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6) / 6$																																																																																																																		
m	$R_1 \Omega$	$P_6 (\Omega \cdot m)$																																																																																																																			
10																																																																																																																					
Resistividad promedio (1 a 6m)																																																																																																																					

Nota: en la Figura 52 adjunta, se detalla los parámetros para el registro de datos de la resistencia eléctrica del suelo.

Fuente: (Los Autores)

Tabla 28

Datos de la resistencia de las mallas método 3polos o método 62%

Datos de la medición de 3 polos o método 62%		
Datos obtenidos	Datos obtenidos	Rango valor Resistencia
Resistencia malla de tierra	3.42 Ω	menor < 10 Ω .
Resistencia malla servicio	0.91 Ω	
Resistencia malla en conjunto	0.90 Ω	

Nota: en la Tabla 28 detalla los resultados medidos de la resistencia de las mallas (tierra y servicio) los mismos que ha mejorado la resistencia posterior de los 18 meses de su implementación.

Fuente: (Los Autores)

3.4.2 Prueba de resistencia del suelo y su medición método (Wenner o 4 picas)

Se realizó la toma de datos de la prueba de resistencia con el método de Wenner o de 4 picas, con el equipo telurómetro Fluke 1625-2, se realizó con diferentes distancias (1m, 2m, 4m, 6m, 10m) los cuatro electrodos en línea recta en el suelo con la siguiente configuración de electrodos de potencial y corriente: (E/C1) electrodo de corriente auxiliar, (ES/P1) Electrodo de potencial auxiliar, (S/P2) Electrodo de potencial auxiliar, (H/C2) electrodo de corriente auxiliar, donde los dos electrodos exteriores (E/C1 y H/C2), inyectan una corriente y los dos electrodos centrales (S/P2 y ES/P1), miden el potencial y los datos se reflejan en la Figuras 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59 y en la Tabla 29.

Figura 53

Prueba resistencia del suelo método Wenner (4 pica.) a 1 metro.



Nota: la Figura 53 refleja el resultado 7.99 Ω de la prueba a 1m con configuración de electrodos de potencial y corriente: (E/C1) electrodo de corriente auxiliar, (ES/P1) Electrodo de potencial auxiliar, (S/P2) Electrodo de potencial auxiliar, (H/C2) electrodo de corriente auxiliar

Fuente: (Los Autores)

Figura 54

Prueba resistencia del suelo método Wenner (4 pica.) a 2 metro.



Nota: la Figura 54 refleja el resultado 3.40 Ω de la prueba a 2m con configuración de electrodos de potencial y corriente: (E/C1) electrodo de corriente auxiliar, (ES/P1) Electrodo de potencial auxiliar, (S/P2) Electrodo de potencial auxiliar, (H/C2) electrodo de corriente auxiliar

Fuente: (Los Autores)

Figura 55

Prueba resistencia del suelo método Wenner (4 pica.) a 4 metro.



Nota: la Figura 55 refleja el resultado 0.90Ω de la prueba a 4m con configuración de electrodos de potencial y corriente: (E/C1) electrodo de corriente auxiliar, (ES/P1) Electrodo de potencial auxiliar, (S/P2) Electrodo de potencial auxiliar, (H/C2) electrodo de corriente auxiliar

Fuente: (Los Autores)

Figura 56

Prueba resistencia del suelo método Wenner (4 pica.) a 6 metro.



Nota: la Figura 56 refleja el resultado 0.26Ω de la prueba a 6m con configuración de electrodos de potencial y corriente: (E/C1) electrodo de corriente auxiliar, (ES/P1) Electrodo de potencial auxiliar, (S/P2) Electrodo de potencial auxiliar, (H/C2) electrodo de corriente auxiliar

Fuente: (Los Autores)

Figura 57

Prueba resistencia del suelo método Wenner (4 pica.) a 8 metro.

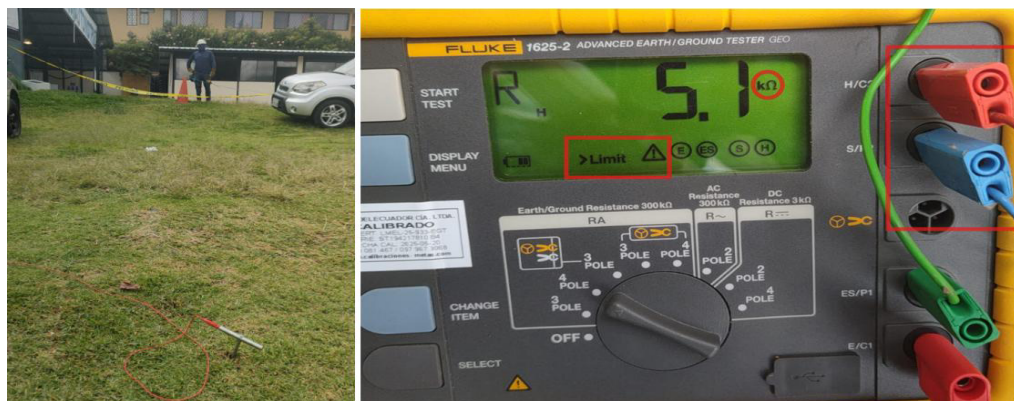


Nota: la Figura 57 refleja el resultado deficiente $3.1 \text{ k}\Omega = 3.100 \text{ }\Omega$ de la prueba a 8m con configuración de electrodos de potencial y corriente: a partir de estos electrodos (S/P2) Electrodo de potencial auxiliar, (H/C2) electrodo de corriente auxiliar, se encontró relleno toda la superficie del suelo con piedras.

Fuente: (Los Autores)

Figura 58

Prueba resistencia del suelo método Wenner (4 pica.) a 10 metro.



Nota: la Figura 58 refleja el resultado deficiente $5.1 \text{ k}\Omega = 5.100 \text{ }\Omega$ de la prueba a 10m con la misma configuración de electrodos, pero con un cambio de color en los cables por el metraje del color rojo y nos arrojó un error por el electrodo (H/C2) por la ubicación de terreno, se encontró relleno toda la superficie del suelo con piedras.

Fuente: (Los Autores)

Figura 59

Formato del registro de datos obtenidos de la resistencia eléctrica del suelo método Wenner

NORMAS TÉCNICAS																																																																																																																					
MEDIDA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUELO																																																																																																																					
10. FORMATO PARA REGISTRO DE MEDICIONES DE RESISTIVIDAD																																																																																																																					
DATOS DEL SITIO																																																																																																																					
Fecha: 2025-07-04																																																																																																																					
Canton: Rumiñahui																																																																																																																					
Provincia: Pichinca	Dirección: Sangolquí, Av Atahualpa 1701 y 8 de Febrero																																																																																																																				
Proyecto: Mantenimiento del sistema descargas atmosféricas		Cliente: Tecnológico Universitario Rumiñahui																																																																																																																			
DATOS COMPLEMENTARIOS																																																																																																																					
Responsable de la medición: Luis Raírez, Daniel Huerfano, Mateo Iza																																																																																																																					
Equipo de medida utilizado: FLUKE 1625-2		Fecha de calibración del Equipo: 2025-05-20																																																																																																																			
Condiciones del terreno: Seco: SI		Húmedo:																																																																																																																			
Observaciones del sitio: Parte del terreno (parqueadero) es relleno con lastre																																																																																																																					
REGISTROS DE LAS MEDIDAS																																																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">Metodo Wenner</th> <th colspan="3" style="text-align: center;">Metodo 3 Polos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>m</td> <td>R₁ Ω</td> <td>P₁ (Ω*m)</td> <td>Malla tierra</td> <td>R₁ Ω</td> <td>P₁ (Ω*m)</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>7.99</td> <td>50,1772</td> <td></td> <td>3.42</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Perfil 2</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>R₁ Ω</td> <td>P₂ (Ω*m)</td> <td>Malla de servicio</td> <td>R₁ Ω</td> <td>P₂ (Ω*m)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>3.40</td> <td>42,704</td> <td></td> <td>0.91</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Perfil 3</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>R₁ Ω</td> <td>P₃ (Ω*m)</td> <td>Malla unificada</td> <td>R₁ Ω</td> <td>P₃ (Ω*m)</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0.90</td> <td>22,608</td> <td></td> <td>0.90</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Perfil 4</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>R₁ Ω</td> <td>P₄ (Ω*m)</td> <td>Promedio</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0.26</td> <td>9,7968</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Perfil 5</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>R₁ Ω</td> <td>P₅ (Ω*m)</td> <td colspan="3"> $P = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4$ </td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>3.100</td> <td>155,744</td> <td colspan="3"> Resistividad promedio (1 a 4m) 31,3215 Ω.m </td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Perfil 6</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>R₁ Ω</td> <td>P₆ (Ω*m)</td> <td colspan="3"> $P = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6) / 6$ </td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>5.100</td> <td>320,28</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Resistividad promedio (1 a 6m)</td> <td>100,2183333</td> <td colspan="3"></td> </tr> </tbody> </table>				Metodo Wenner			Metodo 3 Polos			m	R ₁ Ω	P ₁ (Ω*m)	Malla tierra	R ₁ Ω	P ₁ (Ω*m)	1	7.99	50,1772		3.42		Perfil 2						m	R ₁ Ω	P ₂ (Ω*m)	Malla de servicio	R ₁ Ω	P ₂ (Ω*m)	2	3.40	42,704		0.91		Perfil 3						m	R ₁ Ω	P ₃ (Ω*m)	Malla unificada	R ₁ Ω	P ₃ (Ω*m)	4	0.90	22,608		0.90		Perfil 4						m	R ₁ Ω	P ₄ (Ω*m)	Promedio			6	0.26	9,7968				Perfil 5						m	R ₁ Ω	P ₅ (Ω*m)	$P = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4$			8	3.100	155,744	Resistividad promedio (1 a 4m) 31,3215 Ω.m			Perfil 6						m	R ₁ Ω	P ₆ (Ω*m)	$P = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6) / 6$			10	5.100	320,28				Resistividad promedio (1 a 6m)		100,2183333			
Metodo Wenner			Metodo 3 Polos																																																																																																																		
m	R ₁ Ω	P ₁ (Ω*m)	Malla tierra	R ₁ Ω	P ₁ (Ω*m)																																																																																																																
1	7.99	50,1772		3.42																																																																																																																	
Perfil 2																																																																																																																					
m	R ₁ Ω	P ₂ (Ω*m)	Malla de servicio	R ₁ Ω	P ₂ (Ω*m)																																																																																																																
2	3.40	42,704		0.91																																																																																																																	
Perfil 3																																																																																																																					
m	R ₁ Ω	P ₃ (Ω*m)	Malla unificada	R ₁ Ω	P ₃ (Ω*m)																																																																																																																
4	0.90	22,608		0.90																																																																																																																	
Perfil 4																																																																																																																					
m	R ₁ Ω	P ₄ (Ω*m)	Promedio																																																																																																																		
6	0.26	9,7968																																																																																																																			
Perfil 5																																																																																																																					
m	R ₁ Ω	P ₅ (Ω*m)	$P = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4$																																																																																																																		
8	3.100	155,744	Resistividad promedio (1 a 4m) 31,3215 Ω.m																																																																																																																		
Perfil 6																																																																																																																					
m	R ₁ Ω	P ₆ (Ω*m)	$P = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6) / 6$																																																																																																																		
10	5.100	320,28																																																																																																																			
Resistividad promedio (1 a 6m)		100,2183333																																																																																																																			

Nota: en la Figura 59 se detalla el registro de datos de resistencia y resistividad obtenidos con el método 4 polos (Wenner) y se considera para el promedio la distancia desde 1m a 6m reflejando un valor de resistividad de 100,2183888 Ω.

Fuente: (Los Autores)

Tabla 29*Datos de la medición de la resistencia de las mallas método 4 polos (Wenner)*

Datos con el método 4 polos (Wenner)				
Datos obtenidos con la distancia (a)	Datos obtenidos	Resistividad (ρ_w) Formula : $\rho_w = 2 \pi a R$		Promedio: $\rho_w = (P1+P2+P3+P4)/4$
P1	1m	7.99 Ω	50,1772 $\Omega.m$	31,3212 $\Omega.m$
P2	2m	3.40 Ω	42,704 $\Omega.m$	
P3	4m	0.90 Ω	22,608 $\Omega.m$	
P4	6m	0.26 Ω	9,7968 $\Omega.m$	
P5	8m	3.100 Ω	155,744 $\Omega.m$	
P6	10m	5.100 Ω	32,,28 $\Omega.m$	

Nota: en la Tabla 29 detalla los resultados medidos de resistencia y resistividad obtenidos con el método 4 polos (Wenner) y se considera para el promedio total $\rho_w = (P1+P2+P3+P4)/4$ siendo los 4 mejores valores reflejando un valor de resistividad de 31,3212 Ω .

Fuente: (Los Autores)

3.4.3 Calibración del equipo Megger MIT1025

Se realizó la calibración del equipo Megger MIT1025 en Metrólogos Asociados del Ecuador “METAS DEL ECUADOR CIA.LTDA”, para verificar y ajustar la precisión del equipo de medición comparándolo con patrón trazable a normas internacionales con el objetivo de garantizar los resultados que sean confiables y válidos, como se representa en la Figura 57.

Figura 60

Certificación de la calibración del equipo Fluke 1625-2

 METROLOGOS ASOCIADOS DEL ECUADOR LABORATORIO DE CALIBRACIÓN Y ENSAYO		 Red Ecuatoriana de Metrología "Laboratorio Secundario de Calibración"	 Servicio de Acreditación Ecuatoriana Acreditación N° SAE-LCA-17-001 LABORATORIO DE CALIBRACIÓN
MAGNITUDES ELÉCTRICAS			
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN			
Número de Certificado: LMEL-25-933-EGT		Orden: 6340	
DATOS DEL CLIENTE		INSTRUMENTO BAJO PRUEBA	
Nombre:	TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO RUMÑAHUI	Descripción: ⁽¹⁾	ADVANCED EARTH / GROUND TESTER GEO FLUKE
Dirección:	Sangolquí, Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero	Marca: ⁽¹⁾	
Contacto:	-----	Modelo: ⁽¹⁾	1625-2
Teléfono:	023 524 529 / 096 005 2734	Serie: ⁽¹⁾	ST194217810 B4
PROCEDIMIENTO UTILIZADO: PR-LMEL-01		Código: ⁽¹⁾	-----
		Fecha de recepción:	2025-05-16
CONDICIONES AMBIENTALES		FECHA DE CALIBRACIÓN	
Lugar de Calibración:	LABORATORIO	Inicio de Calibración:	2025-05-20
Temperatura ambiente:	20 °C ± 5 °C	Fin de Calibración:	2025-05-20
Humedad Relativa:	50 %HR ± 20 %HR	Próxima Calibración:	-----
		Fecha de Emisión:	2025-05-20
		Núm. de días de Calibración:	01 día
INSTRUMENTO PATRÓN UTILIZADO			
Descripción:	DECADE RESISTOR		
Marca:	DEKABOX		
Modelo:	DB62		
Serie:	E 20604820062A		
Núm. Certificado:	LMEL25097DEC		
Fecha de Cal:	2025-01-24		
F. de próx. Cal:	2026-01-24		
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CALIBRACIÓN			
La incertidumbre expandida reportada se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar combinada por un factor de cobertura k calculado, que corresponde a un nivel de confianza aproximadamente del 95,45%, de acuerdo con el tipo de distribución. La incertidumbre de medida se estimó basándose en la G.U.M "Guide to the expression of uncertainty in measurement" JCGM 100: 2008. Las mediciones fueron realizadas por personal autorizado de nuestro laboratorio basados en patrones de referencia que mantienen trazabilidad al Sistema Internacional SI, a través de Laboratorios Acreditados bajo la Norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2018. Para la calibración se ha considerado entre otras las siguientes fuentes de incertidumbre: instrumento patrón, instrumento bajo prueba (IBP) y método. Se utilizan procedimientos desarrollados por la Compañía METASDELECUADOR CÍA. LTDA. Los resultados de este certificado son válidos únicamente para el instrumento indicado y bajo las condiciones de referencia declaradas que se detallan en las siguientes páginas como parte del certificado. Este certificado de calibración no debe ser copiado parcialmente, excepto en su totalidad, con la autorización y firmas del personal responsable de la Compañía METASDELECUADOR CÍA. LTDA. Este laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado del instrumento calibrado y del certificado. ⁽¹⁾METASDELECUADOR CÍA. LTDA. no es responsable por la información proporcionada por el cliente. ⁽²⁾Información tomada de las especificaciones proporcionadas por el fabricante. El intervalo de calibración (confirmación metrológica) del instrumento es responsabilidad del cliente. La trazabilidad del laboratorio de la Compañía METASDELECUADOR CÍA. LTDA. está disponible para el cliente si lo requiere.			
			
Quito, Manglaralto S14-300 y Tomas Guerra (sector San Bartolo) Tel.: 023 081 4677 097 9873085 atencioncliente@calibraciones-metas.com www.calibraciones-metas.com			
F-CAL-AT5G-01-3		Página: 1 de 4	

Nota: la Figura 60 detalla la calibración del equipo Fluke 1625-2 por parte de METAS DEL ECUADOR CIA.LTDA.

Fuente: (Los Autores)

3.5 Análisis comparativo de los parámetros medidos de pruebas eléctricas según las normas IEC 62305 / IEEE 43-2000 / IEEE 81.

3.5.1 Análisis comparativo Megado del cable Prueba DAR (Dielectric Absorption Ratio)

El valor de resistencia obtenido es elevado, por lo que se logra evidenciar que el aislamiento se encuentra en óptimas condiciones, no presenta señales de humedad ni deterioro por envejecimiento, resultado se detalla en la Tabla 30.

Tabla 30

Análisis según normativa de la medición del megado del cable Prueba (DAR)

Concepto	Valor Medido	Valor Normativa	Norma Aplicable	Cumple
Resistencia de aislamiento	141,7 GΩ	$\geq 1 \text{ G}\Omega$	IEEE 43-2000	Si
DAR 60s / 30s comparación	1,83	≥ 1.25	IEEE 43-2000	Si

Nota: En la Tabla 30 se detalla el análisis del valor de resistencia de aislamiento de cable obtenido.
Fuente (Los Autores)

3.5.1.1 Análisis Comparativo Megado del cable prueba PI (Índice de Polarización)

Este valor evidencia un aislamiento de excelente calidad, sin indicios de contaminación o humedad, resultado se detalla en la Tabla 31.

Tabla 31

Análisis según normativa de la medición del megado del cable Prueba PI (Índice de Polarización)

Concepto	Valor Medido	Valor Normativo	Norma Aplicable	Cumple
Resistencia a 10 _{min} y 1 _{min} comparación	21,6 Ω	≥ 2 buena condición ≥ 4 Excelente condición	IEEE 43-2013	Sí
Resistencia Aislamiento Índice PI	1,76 T Ω	≥ 1 T Ω	IEEE 43-2013	Sí

Nota: En la Tabla 31 se detalla el análisis del valor de resistencia obtenido.

Fuente: (Los Autores)

3.5.2 Análisis comparativo resistencia de la malla de Tierra 3 Polos método 62%

El valor medido cumple con los estándares internacionales, indicando que la instalación posee un sistema de tierra eficiente y seguro.

Tabla 32

Análisis según normativa de la medición de la resistencia de la malla de Tierra 3 Polos método 62%

Resistencia de malla de tierra	Valor Medido	Valor Normativo	Norma Aplicable	Cumple
Resistencia malla de tierra	3,42 Ω	≤ 10 Ω (óptimo)	IEC 62305	Si
Resistencia malla servicio	0,91 Ω	≤ 10 Ω (óptimo)	IEC 62305	Si
Resistencia malla en conjunto	0,90 Ω	≤ 10 Ω (óptimo)	IEC 62305	Si

Nota: En la Tabla 32 se detalla el análisis de la resistencia de malla de tierra.

Fuente: (Los Autores)

3.5.2.1 Análisis comparativo resistencia del suelo 4 Polos o método (Wenner)

La resistividad del suelo es baja, lo cual es de gran importancia ya que, permite instalar el sistema de puesta a tierra de forma eficiente se detalla valores en la Tabla 33.

Tabla 33

Analisis según normativa de la medición resistencia y resistividad del suelo 4 Polos o método (Wenner)

Resistencia del suelo	Valor Normativo	Norma aplicable	Cumple
7.99 Ω	$\leq 10 \Omega$	IEC 62305	Si
3.40 Ω	$\leq 10 \Omega$	IEC 62305	Si
0.90 Ω	$\leq 10 \Omega$	IEC 62305	Si
0.26 Ω	$\leq 10 \Omega$	IEC 62305	Si
3.100 Ω	$\leq 10 \Omega$	IEC 62305	No
5.100 Ω	$\leq 10 \Omega$	IEC 62305	No
Resistividad del suelo	Valor Normativo	Norma aplicable	Cumple
50,1772 $\Omega \cdot m$	$\leq 100 \Omega \cdot m$	IEC 62305	Si
42,704 $\Omega \cdot m$	$\leq 100 \Omega \cdot m$	IEC 62305	Si
22,608 $\Omega \cdot m$	$\leq 100 \Omega \cdot m$	IEC 62305	Si
9,7968 $\Omega \cdot m$	$\leq 100 \Omega \cdot m$	IEC 62305	Si
155,744 $\Omega \cdot m$	$\leq 100 \Omega \cdot m$	IEC 62305	No
320,28 $\Omega \cdot m$	$\leq 100 \Omega \cdot m$	IEC 62305	No
Promedio resistividad 31,3215 $\Omega \cdot m$	$\leq 100 \Omega \cdot m$	IEC 62305	Si

Nota: en la Tabla 33 se detalla el análisis de la resistencia y la resistividad del suelo según la normativa aplicada.

Fuente: (Los Autores)

3.5.3 Análisis de la desviación de los valores eléctricos medidos con la norma

Para obtener los datos de desviación se considera los siguientes datos, Desviación (%) = $((\text{Valor Medido} - \text{Valor Normativo}) / \text{Valor Normativo}) \times 100$, en la Tabla 34 se refleja los valores obtenidos.

Tabla 34

Análisis de la desviación de los valores eléctricos medidos

Prueba	Valor Medido	Valor Normativo	Norma	Desviación (%)	Cumple
Resistencia de aislamiento (DAR)	141.700 G Ω	$\geq 1 \text{ G}\Omega$	IEEE 43-2000	+14.169900%	Si
Comparación DAR 60s / 30s	1.830	≥ 1.250	IEEE 43-2000	+46.4%	Si
Resistencia Aislamiento (PI)	1.760 T Ω	$\geq 1 \text{ T } \Omega$	IEEE 43-2013	+175.900	Si
Comparación Resistencia a 10 _{min} y 1 _{min} (PI)	21,6	≥ 2	IEEE 43-2013	+980%	Si
Resistividad del suelo	31,3215 $\Omega \cdot \text{m}$	$\leq 100 \Omega \cdot \text{m}$	IEC 62305 / IEEE 81	-68.67 %	Si

Nota: en la Tabla 34 se considera los parámetros para el caso de límites mínimos (como aislamiento), si el valor medido es superior, se considera la desviación como positiva.

Fuente: (Los Autores)

3.6 CheckList del Mantenimiento del Sistema de Descarga Atmosférica

En el siguiente documento se detalla la hoja de control implementada para verificar los elementos esenciales que deben comprobarse para mantener el sistema de descargas atmosféricas en perfectas condiciones y de esa manera documentar y llevar un control de los mantenimientos e inspecciones e identificar posibles defectos del sistema, como se detalla en la Figura 61, nota se evidencia en el CheckList los ítems (5, 8) no cumplen por el motivo que son elementos que no se pueden acceder por su ubicación la misma que existe una edificación sobre los elementos.

Figura 61

CheckList del mantenimiento del sistema descargas atmosféricas

CheckList de Mantenimiento / Sistema de Descargas Atmosféricas						
Fecha de Mantenimiento		4/7/2025			Mantenimiento:	
Ubicación Sistema de Descargas		Tecnologico Universitario Rumifiahui/Taller mecánica automotriz			N° 1	
Tipo de Mantenimiento		Preventivo ☒ Correctivo ☐			Visual ☐	
Tipo de equipo de Medición Aislamiento					MEGGER MIT 1025	
Tipo de equipo de medición de Resistencia de Suelo					FLUKE 1625-2	
Listado de desarrollo						
Ítem	Elemento del sistema	Método de Verificación	Condición	Cumple		Observaciones
				Si	No	
1	Punta captadora Franklin	Inspección visual	Sin corrosión, deformación;	☒	☐	No actuado
2	Mástil y soportes	Verificación mecánica	Firme, sin óxido	☒	☐	Buen estado
3	Cable del pararrayo	Revisión visual y física	Sin cortes o pérdida de aisl.	☒	☐	Buen estado
4	Barra de equipotenciación	Inspección visual	Conexiones firmes y sin sulfatación	☒	☐	Buen estado
5	Conexiones y soldaduras exotérmicas	Inspección visual	Firmes, sin fisuras ni corrosión	☐	☒	No aplica, no se puede visualizar
6	Bobina de choque/descargador	Inspección visual	IP67 íntegro, sin daños	☒	☐	Buen estado
7	Contador de eventos atmosféricos	Prueba funcional	Lectura visible, detección $\geq 1\text{kA}$	☒	☐	Buen estado, no registra eventos
8	Malla a tierra	Inspección visual	Sin excavaciones o alteracio	☐	☒	No se puede visualizar
9	Resistencia de malla de tierra	Medición (telurómetro)	$\leq 10\ \Omega$ (óptimo), $\leq 25\ \Omega$ (aceptable)	☒	☐	Excelente resistencia con valor de 3,42 Ω
10	Resistencia de aislamiento	Medición (megóhmetro)	$PI > 2$, $DAR > 1.6$, $DD < 2$	☒	☐	No presenta degradación
11	Resistividad del suelo	Medición (método Wenner)	$\leq 100\ \Omega \cdot \text{m}$	☒	☐	Excelente con un valor de 32,32 $\Omega \cdot \text{m}$
12	Limpieza de terminales y conexiones	Cepillo metálico y solución antioxidante	Terminales libres de óxido	☒	☐	No presenta corrosión
13	Recubrimiento anticorrosivo	Revisión física	Superficie metálica cubierta	☒	☐	Buen estado
14	Cumplimiento normativo	Comparación con IEC 62305, NFPA 780 y CEE	Conforme	☒	☐	Dentro de los parametros de la norma
15	Actualización de mantenimiento preventivo	Registro de documento	Archivo actualizado	☒	☐	Primer registro
Observación: Sistema en óptimas condiciones de Operación, la revision cada 6 mese o cuando ocurra un evento						
Supervisado por:		Realizado por:				
Nombre: Ing. Pérez Mora Santiago Rogelio MSc.		Nombre: Daniel Húerfano, Mateo Iza, Luis Ramírez				
Firma:		Firma:				

Nota: en la Figura 61 se detalla CheckList realizado al sistema de descarga atmosférica

Fuente: (Los Autores)

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES RECOMENDACIONES

4.1.Conclusiones

Se llevó a cabo una evaluación del estado actual del sistema de protección contra rayos del taller de mecánica automotriz del Tecnológico Universitario Rumiñahui, con el propósito de obtener datos precisos sobre su operatividad y proponer las mejoras que el sistema de descarga atmosférica pueda requerir. Conforme a la normativa IEEE-80, para realizar la recopilación de información del sistema de puesta a tierra es necesario seguir determinados procedimientos, entre los cuales se incluye la revisión eléctrica de los conductores. Esta se llevó a cabo utilizando el método de megado de conductores y la evaluación de la resistividad de la malla. No fue factible realizar inspecciones visuales de las conexiones, empalmes y electrodos, debido a alteraciones en el entorno físico del lugar. En particular, se construyó un aula justo sobre el área en la que se encuentra asentada la malla de puesta a tierra.

Se revisó la condición del pararrayos o captador de rayos, evaluando su conexión con el cable de bajante. Se examinaron también los componentes pasivos, como el contador de descargas atmosféricas, que ayudan a determinar si el sistema ha sufrido alguna descarga, se determinó que todos los componentes del sistema se encuentran en buen estado para su correcta operación.

Los datos recolectados fueron analizados y comparados con los criterios establecidos por la normativa actual, encontrándose dentro de los límites aceptables para el funcionamiento seguro del sistema.

Después de la inspección de los elementos del sistema, se llegó a la conclusión de que este aún está en cumplimiento con los requisitos normativos, manteniendo sus componentes en buen estado operativo y apto para el propósito con el que fueron implementados.

4.2.Recomendaciones

- Realizar la evaluación de equipotencialidad: examinar todas las conexiones del sistema de pararrayos y malla de puesta a tierra, verificar los elementos de equipotenciación del sistema con otros sistemas presentes, así como la continuidad eléctrica entre ellos.
- Realizar mediciones frecuentes de resistividad con la finalidad de garantizar que los valores se mantengan, en general, por debajo de $10\ \Omega$.
- Verificaciones visuales: las inspecciones visuales están condicionadas por los cambios y alteraciones en el entorno físico del lugar, se recomienda en este caso, realizar mediciones en intervalos de tiempo menor al reconectado por la norma IEC 62305-3 con la finalidad de documentar el deterioro del sistema de malla puesta a tierra.
- Inspecciones de eventos atmosféricos: verificar la integridad de la bajante de pararrayos, así como la punta captadora de rayos, al igual que en contador de eventos atmosféricos. También se debe verificar que el mástil del pararrayos se mantenga en su posición vertical, para que la punta captadora mantenga la cobertura de acuerdo al diseño implementado del sistema.
- Para asegurar que el sistema de protección contra descargas atmosféricas siga ofreciendo una protección eficaz, se sugiere llevar a cabo mediciones periódicas, con un intervalo no superior a seis meses. Estas mediciones ayudarán a identificar rápidamente posibles fallos o daños, lo que permitirá implementar las correcciones y ajustes necesarios para mantener su operatividad.

Referencias Bibliográficas

- 1Library. (2021). NORMAS DE MONTAJES COMPLEMENTARIOS MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA. Obtenido de 1Library: <https://1library.co/document/z3jk8k8y-normas-montajes-complementarios-medida-resistencia-puesta-tierra.html>
- Abril, L. M., & Azogue, F. (2021). DISEÑO Y MODELADO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y APANTALLAMIENTO PARA LA ESTACIÓN COTOPAXI DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR. Obtenido de UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI: <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/561c9be3-aed7-4a0b-9cc1-5e263ddaca71/content>
- Aguilera Balseca, R. L., & Muños Hernandez, H. (2024). Diseño de sistema de proteccion contra descargas atmosfericas para zona de tanques de GLP. Obtenido de Universidad Politecnica Saleciana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27303/1/UPS-GT004959.pdf>
- Amores Sánchez, F. (2020). La Protección contra Rayos en Cuba. Obtenido de Dpto. Técnico, Oficina de Representación en Cuba de APLICACIONES TECNOLÓGICAS, S. A.: <https://www.monografias.com/trabajos108/proteccion-rayos-cuba-limitaciones-efectividad-y-normalizacion/proteccion-rayos-cuba-limitaciones-efectividad-y-normalizacion>
- Arconel. (2021). Panorama Eléctrico. Obtenido de <https://arconel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/01/6ta-Edicion-Panorama.pdf>
- Caro, I. (Septiembre de 2020). ELECTROFACIL-SOLTEC. Obtenido de <https://electrofacil-soltec.blogspot.com/2020/09/como-seleccionar-y-instalar-un-sistema.html>
- Chauvin, A. (2020). Guía de la medición de tierra. Chauvin Arnoux, 3.
- Electricaplicada. (2011). Electricaplicada. Obtenido de <https://electricaplicada.com/preguntas-respuestas-proteccion-contra-rayos/>
- Electricistas.cl. (2025). Puesta a tierra. Obtenido de Electricistas.cl: <https://electricistas.cl/que-es-tierra-fisica-como-se-conecta-y-para-que-sirve/>
- Electroenergy. (2025). IMPORTANCIA DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA SEGÚN IEEE 80. Obtenido de <https://electroenergyic.com/importancia-del-sistema-de-puesta-a-tierra-segun-ieee->

80/#::~text=La%20norma%20IEEE%2080%20proporciona,el%C3%A9ctricas%20y%20fallas%20a%20tierra.

Epm. (septiembre de 2019). Norma Técnica: Mediciones para el sistema de puesta a tierra.

Obtenido de EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN ESP:

<https://www.essa.com.co/site/Portals/provedores/ra6->

014%20norma%20tecnica%20para%20medicion%20de%20resistividad%20de%20suel
o%20y%20de%20resistencia%20del%20SPT.pdf?ver=2024-02-01-002403-

983#:~:text=16%20de%2029-,4.2.2%20M%C3%A9todo%20de%20la%20pendiente,

Farina, A. (8 de junio de 2025). Revista Ingeniería Eléctrica. Obtenido de Editores:

https://www.editores.com.ar/autor/alberto_farina/20220221_sistema_de_puesta_a_tierra

Flores Paredes, C. A. (2021). Evaluación del sistema de coordinación de protecciones en

subestaciones eléctricas móviles de media tensión con Digsilent en una empresa minera en la ciudad de Arequipa - 2021. Obtenido de Universidad Continental:

file:///Users/gabriela/Desktop/Luchin/yo/referencias/IV_FIN_109_TE_Flores_Paredes_2021.pdf

Flores. (2019). Obtenido de Universidad de Piura:

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9486/4/IV_FIN_109_TE_Tello_Varela_2021.pdf

Franklin. (2009). Franklin Electric. Obtenido de

<http://franklinlinkmx.wordpress.com/2009/06/09/descargas-electricas/>

Guel, M. M. (2021). RECONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DEL EDIFICIO DE CARRERA DE ELECTRICIDAD. Obtenido de UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE:

<https://repositorio.utn.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11565/2/04%20MEL%20124%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

Ingesco. (Abril de 2025). Obtenido de INGESCO:

<https://www.ingesco.com/es/noticias/diferencias-entre-pararrayos-activos-y-pasivos>

Insercomp. (octubre de 2022). Importancia del estudio de resistividad eléctrica para los

sistemas de puesta a tierra. Obtenido de [https://insercomp.cl/importancia-del-estudio-de-resistividad-electrica-para-los-sistemas-de-puesta-a-](https://insercomp.cl/importancia-del-estudio-de-resistividad-electrica-para-los-sistemas-de-puesta-a)

tierra/#:~:text=La%20resistividad%20del%20terreno%20puede%20variar%20de,puesta%20a%20tierra%20durante%20su%20vida%20%C3%BAtil.

- KLK. (2025). Puesta a Tierra en Instalaciones Eléctricas. Obtenido de KLK Electro materiales:
<https://www.klk.es/puesta-a-tierra-en-instalaciones-electricas/#:~:text=La%20puesta%20a%20tierra%20consiste,como%20a%20los%20equipos%20el%C3%A9ctricos.>
- Lasser. (abril de 2021). CÓMO FUNCIONA UN PARARRAYOS. Obtenido de
<https://grupolasser.com/como-funciona-un-pararrayos/>
- Martínez, J. (2020). Esfera Rodante Edificio. Obtenido de Apantallamiento Metodo de Esfera Rodante Edificio (1):
<file:///Apantallamiento%20Metodo%20de%20Esfera%20Rodante%20Edificio.pdf>
- Megger. (2020). Guía de pruebas de diagnóstico de aislamiento a voltajes superiores a 1 kV. Obtenido de https://www.artec-ingenieria.com/pdf/Guias_Tecnicas_Megger/Castellano/Above%201kV_UG_ESLA_V06.pdf
- Mejia Rivas, G. K., Ñahui Rodriguez, A. N., Taipe Narvaez, C., Teran Llonto, A. M., & Vargas Monte, L. (2020). Ingeniería Eléctrica. Obtenido de AÑO DE LA UNIVERSALIZACIÓN DE LA SALUD:
<https://www.coursehero.com/es/file/105572764/PA-3-ING-ELECTRICA-GRUPO-C-NRC-13207-ULTdocx/>
- Mgi. (2020). Rayos: Datos interesantes y curiosidades sobre tormentas eléctricas. Obtenido de
<https://www.mgi.com.uy/informacion-tecnica/rayos-datos-interesantes.html>
- Moreles, C. (06 de 07 de 2023). Cómo medir la resistencia de aislamiento de conductores eléctricos unipolares. Obtenido de SOLUX: <https://solux.pe/blog/como-medir-la-resistencia-de-aislamiento-de-conductores-electricos-unipolares>
- Ocampo Quintero, C. (2022). Diseño de mallas de puesta a tierra bajo la norma IEEE STD 80-2013 con macros en Excel. Obtenido de Institución Universitaria Pascual Bravo.
- PRODEMELSA. (2025). Iluminación industrial. Obtenido de
<https://www.prodemelsa.com/iluminacion-led-industrial-y-residencial-en-ecuador/>
- Quinatoa, C., Albán, D., Proaño, X., & Camacho, L. (2025). Desarrollo de un Algoritmo para la Protección contra Descargas Atmosféricas en Edificaciones. Obtenido de Revista Politécnica: <https://doi.org/10.33333/rp.vol55n1.05>
- Telebahn. (2025). Protector contra sobretensiones Spark Gap 100kA 50kA Supresor de sobretensiones aislado Spark Gap. Obtenido de aliaba:

<https://spanish.alibaba.com/product-detail/Telebahn-50kA-100kA-IP67-Ex-SPD-1600560833912.html>

Todoluzygaz. (14 de 11 de 2022). Pararrayos. Obtenido de Todoluzygaz:

<https://www.todoluzygaz.es/luz/diccionario/p/pararrayos#:~:text=Normalmente%2C%20los%20pararrayos%20est%C3%A1n%20compuestos%20por%20tres,energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%20recibida%20por%20el%20electrodo%20captador.>

Torrez Ch, G. (febrero de 2020). DESCARGAS ATMOSFÉRICAS. Obtenido de Best Practices Electrical Engineering:

<https://proelectricalengineering.design.blog/2020/02/13/descargas-atmosfericas/>